Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON
ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON
ERNST LAMLA

BEIRAT:
J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. v. FICKER
R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN W. HEISENBERG · K. HENKE · A. KÜHN
M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL · H. REIN

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

39. JAHRGANG **HEFT 1** (ERSTES JANUARHEFT) **1952**

INHALT:

AUFSÄTZE. Seite

Das Wuchsstoff/Hemmstoffproblem der höheren Pflanze. Von R. Pohl . . . 1
Die Bedeutung von Kristallbaufehlern für die Physik fester Körper. Von R. W. Pohl . . . 9
Der Einfluß der Sonne auf die Helligkeit der Kometen. Von M. Beyer . . . 13

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Verhalten der Elektronen kristallischer Isolatoren in hohen elektrischen Feldern. Von W. Franz . . . 18
Elektronenmikroskopie für den Metalleinkristall. Von Sh. Yamaguchi . . . 19
Zum elektrischen Leitungsmechanismus im festen Kalziumkarbid. Von X. Heitzer . . . 19
Ätzversuche an Einkristallen im elektrischen Feld. Von W. Kleber und H. O. Koch . . . 19
Salzartige Additionsverbindungen des Aluminiumäthylats. Von O. Schmitz-Dumont und V. Habernickel . . . 20
Zur Struktur der Gashydrate. 2. Mitteilung. Von H. R. Müller und M. v. Stackelberg . . . 20
Messung der Ultraschallabsorption im menschlichen Schädelknochen und ihre Abhängigkeit von der Frequenz. Von Th. F. Hüter . . . 21
Lethal mutations and the bactericidal action of ionizing radiation. Von A. Norman und M. A. Greenfield . . . 22
Chromosomale Soma-Keimbahn-Differenzierung bei Chironomiden. Von H. Bauer und W. Beermann . . . 22
Zur Fluoreszenz der Granen im Chloroplasten. Von D. Düvel und W. Mevius jr. . . . 23
Über das antiphlogistische Prinzip der Kamille. Von F. Jung, M. Wendler und E. Reinicke . . . 23

BESPRECHUNGEN.

H. Hasse, Vorlesungen über Zahlentheorie. (Ref.: M. Deuring) . . . 24
W. Rauh, Unsere Sumpf- und Wasserpflanzen. (Ref.: F. Firbas) 24

Soeben erschien:

Grundriß der Mikrobiologie

Von Dr. **August Rippel-Baldes,** o. Professor an der Universität Göttingen. Zweite Auflage. Mit 153 Abbildungen. VIII, 404 Seiten. 1952. Ganzleinen DM 36.—

Inhaltsübersicht: **Allgemeines:** Umgrenzung des Gebietes. Geschichtliches. Kultur- und Erkennungsverfahren. — **Der Bau der Zelle:** Form und Größe der Zelle. Bau der Zelle. Entwicklung der Zelle. Systematische Übersicht. — **Baustoffwechsel:** Allgemeines. Mineralstoff. Kohlenstoff. Stickstoffernährung. Organische Wirkstoffe. Allgemeine äußere Bedingungen. Ertragsgesetz. Förderung durch stoffwechselfremde Stoffe. Nahrung und Gift. Desinfektion. — **Betriebsstoffwechsel:** Allgemeines. Enzyme. Sauerstoff- und Wasserstoffaktivierung. Aerobe Atmung. Anaerobe Atmung. Abbau der Stickstoffverbindungen. — **Abbau und Synthese.** — **Die Stellung der Mikroorganismen in der Natur:** Zahl und Verbreitung. Verbreitung der Mikroorganismen. — Zusammenleben der Organismen: Kreislauf der Stoffe. Metabiose und Teilkreisläufe. Epiphytismus und Symbiose. Mikroorganismen und Mensch. Der Parasitismus. Rückblick auf Symbiose und Parasitismus. — **Literatur.** — **Sachverzeichnis.**

Die Mikrobiologie stellt sich als dritter und jüngster Zweig der Gesamtbiologie neben Botanik und Zoologie. Ihr Gebiet ist eindeutig gekennzeichnet durch ihre Stellung im Stoffumsatz in der Natur: Die Mikroorganismen sind die notwendigen Vermittler der Nahrung — mittelbar oder unmittelbar — für Pflanze und Tier. Die Aufgabe der Mikrobiologie ist demnach die Erfassung des gesamten biologischen Lebensraumes, in dem sie diese Tätigkeit entfalten, einschließlich der mannigfachen Anwendungsgebiete, also der Beziehungen zwischen Mensch und Organismen. Der vorliegende Grundriß soll den Studierenden aller, auch der entlegeneren Fächer einen Einblick in die Zusammenhänge dieses Gebietes geben.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11.25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalsschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachige Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 249251) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Vertriebs-Vertretung im Ausland:

Lange, Maxwell & Springer Ltd., 41—45 Neal Street, London, W. C. 2

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zeitschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Theaterplatz 10, Fernsprecher 3371.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Präparative Anorganische Chemie

Von Dr. rer. nat. **Horstmar Hecht,** Assistent am Chemischen Institut der Universität Greifswald. Mit 58 Abbildungen. VII, 216 Seiten. 1951. Ganzleinen DM 19.80

Inhaltsübersicht: I. Allgemeine Arbeitsmethoden. — II. Laboratoriumsmäßige Darstellung der wichtigsten Gebrauchsgase. — III. Metalle. — IV. Oxyde, Hydroxyde und Oxydhydrate. — V. Peroxyde und Peroxysalze. — VI. Hydride. — VII. Halogenverbindungen. — VIII. Sulfide und Salze der Thiosäuren. — IX. Salze der Sauerstoffsäuren des Schwefels. — X. Sauerstoffsäuren der Halogene und deren Salze. — XI. Salze der Mangansäuren. — XII. Freie Sauerstoffsäuren. — XIII. Basen. — XIV. Quecksilbersalze. — XV. Stickstoffverbindungen. — XVI. Komplexverbindungen. — XVII. Seltene Erden. — XVIII. Wolframbronzen.— XIX. Ester anorganischer Säuren und Alkoholate. — XX. Acetate. — XXI. Kolloide Lösungen. — Literatur- und Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Die in der letzten Zeit eingetretenen starken Preiserhöhungen beim Papier und beim graphischen Gewerbe machen es leider unmöglich, den bisherigen Abonnementspreis beizubehalten. Wir sehen uns deshalb zum teilweisen Ausgleich genötigt, den Bezugspreis ab 1. Januar 1952 auf DM 15.— vierteljährlich zu erhöhen und hoffen dafür Verständnis bei unseren Lesern zu finden.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

39. Jahrgang Heft 1 (Erstes Januarheft) 1952

Das Wuchsstoff/Hemmstoffproblem der höheren Pflanze.

Von R. Pohl, Freiburg i. Br.

1. Einleitung.

Die Wuchsstofforschung hat in den letzten Jahren durch die Einbeziehung wachstumshemmender Stoffe, sog. Hemmstoffe, in die Wachstumsanalyse der Pflanze eine wertvolle Ergänzung und Bereicherung erfahren. Wenn zunächst nach Wents Theorie [57] das Wachstum einer Zelle direkt proportional ihrem Gehalt an Wuchsstoffen zu sein schien, allein begrenzt durch einen genügenden Vorrat an Baumaterial, so begegnete diese Ansicht in der Folgezeit mancherlei Schwierigkeit. Zeigte sich doch einerseits, daß mit den beiden Faktoren Wuchsstoff und Baumaterial allein der Wachstumswert einer beliebigen Zelle nicht in jedem Falle erfaßt werden kann. Selbst bei Inrechnungstellen der immer recht unsicheren Ermittelung des Baustoffwertes und einer gewissen Individualität jeder Zelle in ihrer Reaktion bestehen zwischen dem Wachstum verschiedener Gewebe bei relativ gleichem Gehalt an Wuchsstoffen erhebliche Unterschiede, deren Ursache in weiteren, das Wachstum beeinflussenden Faktoren gesucht werden mußte. So kann, um ein extremes Beispiel zu nennen, eine Knospe oder ein Same reich an Reservesubstanzen und Wuchsstoffen sein, ohne dabei aber Wachstum zu zeigen.

Andererseits erkannte man bald eine Beteiligung der Streckungswuchsstoffe an Determinations- und Korrelationsprozessen der Pflanze, z. B. bei der Wurzelbildung, der Regulation des Seitenknospenwachstums, der Blüten- und Fruchtbildung usw. Der Wuchsstoff erschien mehr als Reizstoff denn als ein spezifisches Wachstumshormon [17]. Die notwendige Folgerung aus derartigen Beobachtungen war, daß man dem physiologischen Zustand der Zelle, in den der Wuchsstoff eingreift, besondere Bedeutung zuschrieb. Doch ist einer kausalen Analyse mit der Einführung eines neuen Begriffes allein wie dem des „physiologischen Verhaltens der Zelle auf Wuchsstoff" kaum gedient, solange nicht dieser Begriff durch klar faßbare zellphysiologische Zustandsgrößen definiert werden kann.

Zur erfolgreichen Bearbeitung dieses Problems ist aber eine genaue Kenntnis der möglichen Wuchsstoffaktionen in der Zelle die notwendige Voraussetzung.

Einen nicht zu unterschätzenden Beitrag in der Klärung des Verhaltens der Zelle auf Wachstumsfaktoren haben nun Untersuchungen mit körperfremden Substanzen ergeben, die als Hemmstoffe wirken und von denen wir gleichzeitig ihre Angriffsorte im Zellgeschehen kennen. Darüber hinaus ist durch die Auffindung und Analyse körpereigener Hemmstoffe nicht nur allein weiteres Licht in die Vorgänge der Zelle selbst beim Wachstumsprozeß gebracht, sondern durch Aufdeckung unmittelbarer Wechselbeziehungen zwischen Wuchs- und Hemmstoff ein neuer Ansatzpunkt zur Klärung verschiedener Entwicklungsprozesse der Pflanze angebahnt worden.

2. Allgemeines zur Wuchsstoff- und Hemmstoffwirkung.

Die komplexe Natur des Wachstumsvorganges der höheren Pflanze, der Plasmawachstum, Zellteilung, Zellstreckung und Zelldifferenzierung umfaßt, macht es verständlich, daß vielerlei Wirkstoffe als Wuchsstoffe fungieren und ebenso verschiedenartige Agenzien als Hemmstoffe des Wachstums auftreten können. Im folgenden wollen wir uns aber nur auf die Wechselbeziehungen zwischen den *Wuchsstoffen der Auxingruppe*, die in erster Linie die Zellstreckung regulieren und in Differenzierungsprozesse eingreifen, und ihren *Hemmstoffen* beschränken. Daher sollen auch nicht die biogenen Substanzen, welche heute unter dem Namen *„Antibiotika"* allgemein bekanntgeworden sind, in den Kreis unserer Betrachtungen einbezogen werden, zumal sie in normaler Dosierung auf die Entwicklung der höheren Pflanze keinen Einfluß nehmen. Handelt es sich dabei doch um Wirkstoffe, die die Zellteilung und das Plasmawachstum bestimmter Mikroorganismen blockieren, auf die die obengenannten Wuchsstoffe der höheren Pflanze nach den bisherigen Erfahrungen fast wirkungslos sind. Der Wirkungsbereich der Wuchsstoffe aus der Auxingruppe ist vielmehr weitgehend auf die grüne Pflanze beschränkt, wenn auch deren häufigster Wuchsstoff, die β-Indolylessigsäure (Heteroauxin), in Bakterien und Pilzkulturen nachgewiesen werden kann, wo sie aber sicherlich nicht als ein Wachstumshormon, sondern als Stoffwechselprodukt auftritt.

Zum Verständnis der Wechselbeziehungen von Wuchsstoff und Hemmstoff ist zunächst eine allgemeine Einsicht in die Wirkungsweise des Wuchsstoffes selbst erforderlich.

Es hat sich gezeigt, daß die Wuchsstoffe, die wir zu den Auxinen rechnen, alle eine Säuregruppe, meistens in Form einer Karboxylgruppe, in ihrer Molekel aufweisen und daß sie bei Wurzel und Sproß dann eine Zellstreckung auslösen, wenn sie in *dissoziierter* Form und in geringer Konzentration auf die Zelle einwirken [56]. Zweifellos liegt dabei der Reaktionsort der Wuchsstoffe in den Plasmagrenzflächen, vorzüglich in lipoiden Schichten des *Plasmalemma* (der äußeren Plasmahaut), da neben der Säuregruppe eine lipophile Konstitution der Molekel eine weitere Voraussetzung zur Wuchsstoffwirkung ist. Während in der Wurzel höhere Konzentrationen des Wuchsstoffes unabhängig von einer Dissoziation der Molekeln in allen Fällen wachstumshemmend wirken, vermögen sie im Sproß noch das Wachstum der Zellen zu fördern. Bei Anwendung solcher Dosierungen, die außer einer Stimulierung des Sproßwachstums vor allem die Entwicklungsprozesse der Pflanze beeinflussen, werden nicht nur die Plasmagrenzflächen, sondern das ganze Plasma mehr oder weniger von Wuchsstoffmolekeln überschwemmt. Nun muß der Reaktionsort des Wuchsstoffes nicht mehr in der Plasmagrenzfläche, sondern vielmehr *im Plasma selbst* liegen. Weiterhin

wird, da bei hohen Konzentrationen die undissoziierten Molekeln überwiegen und erfahrungsgemäß eine Abhängigkeit der Wirkung vom Dissoziationsgrad in diesem Fall nicht beobachtet werden kann, die Säuregruppe nunmehr von untergeordneter Bedeutung sein und das Schwergewicht auf der Molekelgestaltung als Ganzem liegen. Vor allem scheint der Zahl und Lage der Doppelbindungen in der Wuchsstoffmolekel besonderer Wert beizumessen zu sein. Die Vielseitigkeit der Reaktionen von Wuchsstoffen, wenn sie in hoher Dosis der Pflanze künstlich zugeführt werden, macht es sehr wahrscheinlich, daß sie im Plasma enzymatische Prozesse fördern oder hemmen und so über *fermentative* Vorgänge die Entwicklung der Pflanze beeinflussen.

Die Unterdrückung dieser verschiedenen Wuchsstoffaktionen durch Hemmstoffe ist grundsätzlich zunächst in *indirekter* und *direkter* Weise möglich. Einmal können Substanzen als Hemmstoffe in das Zellgeschehen dahingehend eingreifen, daß sie Prozesse unterbinden, die eine Voraussetzung für die Realisierung des Wachstums und der Wuchsstoffwirkung bilden. Diese Art von Hemmstoffen beeinflußt somit indirekt den Wuchsstoff und sein Wirken in der Pflanze. Solche Stoffe können daher nur bedingt als Hemmstoffe des Wachstums, *keineswegs* aber als *Antagonisten* des Wuchsstoffes gelten.

Andererseits ist eine direkte Einflußnahme von Hemmstoffen auf den Wuchsstoff und seine Wirkung auf folgenden drei Wegen denkbar:

1. durch eine Verdrängung der Wuchsstoffmolekel von ihren Reaktionsorten, sei es im Plasmalemma oder im Plasma selbst;

2. durch eine unmittelbare Zerstörung der Wuchsstoffmolekel;

3. durch eine Abschirmung wirksamer Teile der Wuchsstoffmolekel.

Eine Hemmstoffmolekel kann nur den Wuchsstoff von seinen Reaktionsorten verdrängen, wenn sie einen der Wuchsstoffmolekel ähnlichen Bau aufweist. Ist diese Voraussetzung erfüllt, so wird sie sich an Stelle des Wuchsstoffes im Plasmagefüge einordnen, seine Stelle somit besetzen oder ihn sogar daraus verdrängen. Liegt der Reaktionsort in der Plasmagrenzschicht, wobei die Säuregruppe der Wuchsstoffmolekel, wie wir sahen, der aktive Teil ist, der weitere Molekelbau dagegen nur lipophilen Charakter, d. h. eine Affinität an Lipoide aufweisen muß, so genügt für eine Hemmstoffwirkung nur das Fehlen der Säuregruppe und das Vorhandensein eines mehr oder weniger ausgeprägten lipophilen Charakters. Eine besondere Konstitutionsspezifität ist in diesem Fall für eine Substanz, um als Hemmstoff zu wirken, nicht erforderlich.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei einer Blockierung der Wuchsstoffwirkung im Plasma selbst. Hier wird der Konstitution des Hemmstoffes weit höhere Bedeutung beizumessen sein, da er sich nun in fermative Prozesse einfügen muß. Wenn eine Wuchsstoffmolekel im Plasma vielerlei Angriffspositionen einnehmen kann, so wird ein bestimmter Hemmstoff von diesen Reaktionen wohl selten alle blockieren können, sondern nur diejenigen, denen er nach seiner Konstitution angepaßt sein wird. Es ist durchaus denkbar, daß dabei ein Hemmstoff den einen Prozeß der Zelle wie ein Wuchsstoff fördern, einen anderen aber gleichzeitig hemmen kann.

Die Wirkung eines Hemmstoffes, der durch eine unmittelbare Zerstörung der Wuchsstoffmolekel eine Wachstumshemmung auslöst, bedarf keiner weiteren theoretischen Erklärung.

Die Neutralisation der Wuchsstoffwirkung durch Abschirmung aktiver Teile des Wuchsstoffes, die wir als dritten Weg einer direkten Einflußnahme von Hemmstoff auf den Wuchsstoff anführten, kann z. B. durch eine chemische Bindung des Hemmstoffes mit der Karboxylgruppe erfolgen. Eine derartige Bindung von Hemmstoff und Wuchsstoff wird aber nicht allein die Außerkraftsetzung dieser Wirkgruppe des Wuchsstoffes zur Folge haben, sondern gleichzeitig damit die Wuchsstoffmolekel so verändern, daß sie auch ihre Angriffspositionen im Plasma nicht mehr einnehmen kann.

Bei Zugrundelegung dieser vorerst rein theoretischen Überlegungen wird es möglich sein, in das bisher recht verworrene Bild des Wuchsstoff/Hemmstoffproblems der höheren Pflanze einige Klarheit zu bringen und die zur Zeit bekannten körperfremden und körpereigenen Hemmstoffe nach ihrer Wirkungsweise zu erkennen und einzuordnen.

3. Körperfremde Hemmstoffe und ihre Bedeutung für die Wachstumsanalyse.

Von den Hemmstoffen des Wachstums wollen wir einschließlich der obengenannten Antibiotika alle die Substanzen unberücksichtigt lassen, die als unmittelbare Plasmagifte wirken oder als chemische Agenzien, wie schwache Säuren oder Basen, entquellende Ionen usw., das Wachstum hemmend beeinflussen. Nur die Stoffe sollen behandelt werden, die in geringer Konzentration und in Verbindung mit dem Wuchsstoff selbst dessen wachstumsfördernde Wirkung blockieren, die also mehr oder weniger spezifische Hemmstoffe der Wuchsstoffwirkung darstellen.

a) Körperfremde Hemmstoffe mit indirektem Einfluß auf die Wuchsstoffwirkung.

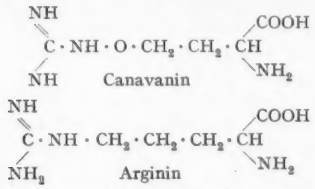
Daß *Atmungsgifte* als Hemmstoffe des Wachstums fungieren, ist verständlich, da eine hohe Atmungsintensität die Voraussetzung für ein anhaltendes Wachstum ist. Nur die Atmung kann die notwendige Energie zur Aufrechterhaltung der labilen Zustände liefern, wie sie für eine in der Entwicklung stehende Zelle erforderlich sind. Daher besagt der Befund, daß Blausäure Atmung und Wachstum unterbindet, nur, daß primär der Energienachschub und sekundär damit das Wachstum selbst gehemmt wird [*4*]. Allgemeine Atmungsgifte wie *Chlormerkuribenzoat* oder *Phenylmerkurisalze* haben bereits als Hemmstoffe des Wachstums eine praktische Anwendung gefunden, wenn sie dazu dienen, das vorzeitige Austreiben der Kartoffel zu unterbinden. Aufschlußreicher waren dagegen Untersuchungen mit spezifischen Atmungsgiften in Verbindung mit den Wuchsstoffen selbst. Gelang es doch auf diesem Wege, der lebhaft diskutierten Frage einer Wuchsstoffwirkung auf die Atmungsprozesse näherzukommen.

Dieses Problem wurde durch Bonner aufgeworfen, der mit einem ungereinigten Wuchsstoffpräparat von *Rhizopus suinus* (Schimmelpilz) eine direkt proportional mit dem Wachstum ansteigende Atmungsintensität beim Haferkeimling teststellen konnte [*3*]. Sein Ergebnis fand zunächst mit synthetischen reinen Wuchsstoffen keine Bestätigung [*26*]. Auch Bonner selbst konnte es mit gereinigten Präparaten von *Rhizopus suinus* nicht wiederholen [*4*]. Später zeigte

es sich dann, daß nicht die gesamte Atmung, sondern nur ein Teilprozeß derselben, nämlich die Atmungsvorgänge, an denen besonders organische Säuren mit 4 Kohlenstoffatomen beteiligt sind (Krebszyklus), durch Wuchsstoffe gefördert wird. Die Zugabe von C_4-Säuren dieses Zyklus, wie Fumar- und Äpfelsäure, steigerte deutlich Atmung und Wachstum bei gleichzeitiger Wuchsstoffdarbietung.

Als Hemmstoffe des Wachstums erwiesen sich nun bestimmte Fermentgifte, wie *Monojodazetat* [*13*] und *Fluoride* [*5*], die die Aktivität spezifischer Dehydrasen des Krebszyklus blockieren. Es überrascht dabei nicht, daß diese Substanzen bei völliger Unterdrückung der durch Wuchsstoff ausgelösten Zellstreckung die Atmung nur um geringe Prozente herabsetzen. Umgekehrt glaubte man, aus diesen Ergebnissen schließen zu dürfen, daß die Wuchsstoffe die Aktivität der gleichen Enzyme steigern, die die Hemmstoffe blockieren, und auf diesem Wege die Streckung der Zelle kontrollieren.

Versuche mit weiteren Hemmstoffen ließen aber diese Schlußfolgerung zweifelhaft werden. *Canavanin*, eine Aminosäure, die in ihrem Chemismus weitgehend einer für die Lebensprozesse der pflanzlichen Zelle recht bedeutungsvollen Aminosäure, dem Arginin, ähnelt, zeigt auf das Wachstum der höheren Pflanze starken Hemmstoffcharakter [*67*], der um so größer ist, je mehr das Wachstum der untersuchten Pflanzen durch Wuchsstoff angeregt wurde.



Arginin und in geringem Umfang auch Glutamin vermögen dagegen die Hemmwirkung des Canavanins wieder aufzuheben.

Dieser Antagonismus zwischen Arginin und Canavanin wurde zuerst für das Wachstum des zu stoffwechselphysiologischen Untersuchungen sehr geeigneten und beliebten Schlauchpilzes *Neurospora* nachgewiesen.

Demnach wird man dem Arginin eine besondere Rolle bei der Zellstreckung und der Aktion des Wuchsstoffes (Zugabe von Arginin steigert die Wuchsstoffwirkung bei der Auslösung von Wurzeln) zuschreiben müssen. Als Eiweißbaustein dient es dabei wohl nicht, da weder eine erhöhte Eiweißsynthese bei Wuchsstoff- und Argininingaben zu messen ist noch eine erhöhte Eiweißsynthese die gesteigerte Atmung durch Wuchsstoff erklären könnte. Es muß sich vielmehr um einen Vorgang handeln, der in irgendeiner Weise mit der Atmung gekoppelt ist.

Einen Hinweis auf das verbindende Glied haben Versuche mit den Hemmstoffen *Dinitrophenol* [*4*] und *Natriumarsenat* [*8*] erbracht, die beide zwar ein durch Wuchsstoff induziertes Wachstum völlig unterbinden, dabei aber die Atmung des Gewebes nicht hemmen, sondern entweder leicht fördern oder unbeeinflußt lassen. Dinitrophenol blockiert nun die Phosphorylierung und Oxydation der Brenztraubensäure. Durch Zugabe von Adenosin, Adenylsäure oder Adenosintriphosphorsäure kann eine durch Dinitrophenol ausgelöste Wachstumshemmung und durch Phosphate der hemmende Effekt des Natriumarsenats gemildert werden.

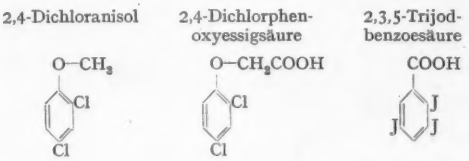
Ob aus diesen Versuchen auf ein Eingreifen des Wuchsstoffes in den Stoffwechsel energiereicher Phosphorverbindungen geschlossen werden darf, muß zunächst noch offen bleiben. Nach einer anderen Erklärungsweise soll nämlich die Wirkung von Jodazetat und Arsenit in einer Blockierung eines SH-Enzyms bestehen, das seinerseits mit den Wachstumsprozessen verknüpft ist. Über das gleiche Fermentsystem sollen auch Kumarin und Protoanemonin (s. S. 5) das Wachstum beeinflussen [*50*], [*51*].

Von einer zunächst recht hypothetischen, allgemeinen Beeinflussung der Atmung durch Wuchsstoffe bahnte so die Analyse des Wachstums mit spezifischen Ferment-Hemmstoffen den Weg zu einer Einengung der die Wuchsstoffwirkung vorbereitenden Prozesse. So wertvoll diese Untersuchungen auch sind, über die eigentliche Wuchsstoffaktion können sie naturgemäß aber nur bedingt Aufschlüsse geben, denn es ist niemals mit Sicherheit zu entscheiden, ob diese Fermentgifte als Hemmstoffe des Wachstums eine Reaktion der Zelle unterbinden, in die auch der Wuchsstoff unmittelbar und direkt eingreift. Erfolgreicher in der Beantwortung dieser Frage müssen Versuche mit Hemmstoffen sein, von denen wir eine direkte Einflußnahme auf den Wuchsstoff annehmen müssen.

b) Körperfremde Hemmstoffe mit direkter Beeinflussung des Wuchsstoffes.

Eine Art der direkten Einwirkung von Hemmstoff auf Wuchsstoff kann, wie wir sahen, darin bestehen, daß sich Substanzen ohne Wuchsstoffcharakter, aber von wuchsstoffähnlicher Bauart im plasmatischen Geschehen an Stelle der Wuchsstoffe einfügen und diese von ihren Reaktionsorten verdrängen. Wenn die Zahl solcher synthetischer Hemmstoffe heute noch auffallend klein ist, gemessen an der hohen Anzahl von Substanzen mit Wuchsstoffcharakter, so ist dies allein darauf zurückzuführen, daß die Bedeutung des Hemmstoffproblems erst in jüngster Zeit erkannt und in Angriff genommen wurde.

Zwei synthetische Hemmstoffe, von denen wir eine solche Wirkungsweise annehmen müssen, haben das besondere Interesse der Pflanzenphysiologen gefunden. *Dichloranisol* und *2,3,5-Trijodbenzoesäure* blockieren streng spezifisch die Wirkung von Streckungswuchsstoffen. Mit diesen Antagonisten des Wuchsstoffes gelang es, die vegetative Phase einiger höherer Pflanzen weitgehend unter gleichzeitiger Förderung der Blütenbildung zu unterdrücken [*7*], [*14*]. Ihrer Konstitution nach zeigen nun beide Hemmstoffe einen hohen Verwandtschaftsgrad zu einem synthetischen Wuchsstoff.



So ist 2,4-Dichloranisol nahe verwandt mit der *2,4-Dichlorphenoxyessigsäure*, einem Streckungswuchsstoff von außerordentlich hoher Wirksamkeit, der als 2,4-D bekannt wurde.

Seine Einflußnahme auf fermentative, besonders hydrolytische Prozesse ist so stark, daß bei hoher Dosierung die Pflanzen sich infolge der erheblich gesteigerten abbauenden Vorgänge bald erschöpfen und zu Grunde gehen. Da ferner 2,4-D in die Blätter unserer Getreidepflanzen nur schwer eindringt, so kann durch Besprühen der Getreidefelder zu einem geeigneten Zeitpunkt mit diesem Wirkstoff eine einseitige Vertilgung der Ackerunkräuter erreicht werden.

Dichloranisol unterscheidet sich von dieser Wuchsstoffsäure allein darin, daß es an Stelle der Essigsäure eine Methylgruppe substituiert enthält.

Die *Trijodbenzoesäure* hat als Kern ebenfalls einen Sechserring und trägt außerdem eine Karboxylgruppe, die bei der Dichlorphenoxyessigsäure ebenso wie die Säuregruppe anderer synthetischer Wuchsstoffe Hauptträger des Wuchsstoffcharakters ist. Man sollte daher für die Trijodbenzoesäure auf Grund einer solchen Konstitution Wuchsstoffcharakter erwarten. Sie erweist sich aber bis auf eine schwache Wuchsstoffwirkung bei geringer Konzentration [*49*] als ausgesprochener Hemmstoff [*19*], [*44*]. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß die Karboxylgruppe so an den Kern substituiert ist, daß sie nicht besonders aktiv in Erscheinung treten kann. Da Benzoesäure selbst keine Wachstumsförderung auslöst, darf diese Annahme zutreffen. Wichtig sind ferner Art und Stellung der Substituenten. Unwirksam als Hemmstoff ist z. B. die 2-Amino-2,5-Dijodbenzoesäure; dagegen fast ebenso aktiv wie die Trijodbenzoesäure ist die 2-Chlor-3,5-Dijodbenzoesäure. Doch ist nicht eine bestimmte Stellung am Kern besonders ausschlaggebend für den physiologischen Effekt, sondern vielmehr die Molekelgestaltung als Ganzes, denn alle Monojodbenzoesäuren, auch die 2-Jodbenzoesäure, sind unwirksam [*60*]. Diese Beobachtung läßt darauf schließen, daß *die Hemmstoffmolekel weitgehend dem Reaktionssubstrat angepaßt sein muß, um sich so wie eine Wuchsstoffmolekel einfügen zu können*, wobei auch das Substrat sehr verschiedenartig sein kann.

Für die *Verdrängungstheorie* der Hemmstoffwirkung, wie wir sie zunächst postuliert haben und die zur Erklärung der Wirkung von Antagonisten der Plasmawirkstoffe zuerst entwickelt wurde, lassen sich also auch beim Streckungswachstum der Pflanze Beispiele anführen. Es fehlt natürlich in beiden Fällen nicht an Gegenargumenten. So hemmt Hexazyklohexan das Wachstum isolierter Erbsenwurzeln. Da es eine dem Mesoinosit analoge Raumkonfiguration besitzt, wirkt es mit großer Wahrscheinlichkeit als Antagonist dieses Plasmawirkstoffes. Seine Hemmwirkung kann aber nicht durch ein Überangebot von Mesoinosit aufgehoben werden [*44*]. Ebenso auf den ersten Blick unvereinbar mit der Verdrängungstheorie ist der Befund, daß die durch Dichloranisol ausgelöste Hemmung in allen Fällen 40 bis 60% des durch Wuchsstoff verursachten Wachstums beträgt. Dabei ist es gleichgültig, ob stärkere oder geringere Wuchsstoffkonzentrationen Anwendung finden [*6*]. Bei Annahme einer Verdrängungsreaktion müßte die Wirkung einer geringen Hemmstoffkonzentration durch eine gesteigerte Wuchsstoffmenge aber aufgehoben werden. Die Ursache dieser nur bedingten Anwendungsmöglichkeit der Verdrängungstheorie liegt wohl in dem Umstand begründet, daß die Wuchsstoffmolekel vielseitige Angriffspositionen in der Zelle vorfindet, denen sich eine bestimmte Hemmstoffmolekel nicht in allen Fällen auch einpassen muß.

Zellphysiologische Untersuchungen über die Einwirkung derartiger Hemmstoffe sind noch nicht bekannt geworden, obwohl gerade sie uns einen weitgehenden Einblick in das Wachstumsgeschehen und die vielseitigen Wuchsstoffwirkungen geben müssen. Ein weites Gebiet liegt hier noch der Forschung offen.

4. *Körpereigene Hemmstoffe und ihre Bedeutung als Wachstumsregulatoren.*

Native Hemmstoffe für das Wachstum sind in erster Linie in ruhenden Pflanzenorganen, wie Samen, Früchten, Knospen und Knollen zu erwarten. Diese Organe sind nämlich im Ruhezustand nicht immer frei von Wuchsstoff, unter dessen Einwirkung sie bei günstigen äußeren Bedingungen eigentlich wachsen müßten. Die Aktivität der Wuchsstoffe scheint in ihnen irgendwie unterbunden zu sein. Hemmstoffe für die Inaktivierung der Wachstumswirkstoffe verantwortlich zu machen, liegt daher nahe.

a) Blastokoline[1] als körpereigene Hemmstoffe.

Schon lange, bevor die Wuchsstoffe als Wachstumsregulatoren erkannt waren, hatte man nach der Ursache der Keimungshemmung gewisser Samen geforscht. So geht die Beobachtung, daß Samen in saftreichen Früchten trotz günstiger Keimungsbedingungen nicht auskeimen, bereits auf *Albertus Magnus* zurück. Seit Ausgang des vorigen Jahrhunderts [*59*] beschäftigte man sich intensiv mit dieser Frage und konnte den Nachweis führen, daß für die Keimungshemmung bestimmte Hemmstoffe, *Blastokoline* [*25*] verantwortlich sind [*16*].

Im Rahmen unseres Themas soll das Problem dieser Blastokoline nur im Zusammenhang mit dem Wuchsstoff betrachtet werden.

Die Wirkung der keimungshemmenden Substanzen kann darin bestehen, daß sie den Wuchsstoff des Samens zerstören oder seine Wirkung aufheben und dadurch die Keimung oder das Wachstum der jungen Keime unterbinden. Auslösung der Keimpotenz und Wachstum sind in diesem Fall keineswegs identisch, sondern beide insofern miteinander verknüpft, als einerseits die angelaufene Keimung morphologisch am Wachstum der Keime erkannt werden kann und andererseits das Wachstum erst erfolgt, wenn die Keimung durch erhöhte Wasseraufnahme, gesteigerte Atmung und andere physiologische Prozesse ausgelöst wurde. Zeigt sich dieser erste Schritt der Keimung, also die Auslösung der Keimpotenz, abhängig von einer bestimmten Wuchsstoffkonzentration des Samens, so wäre der Wuchsstoff nicht nur ein Wachstums-, sondern auch ein *Keimungshormon*. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, ihm diese Bedeutung zuzuschreiben [*12*]. Wäre der Wuchsstoff ein Keimungshormon im obigen Sinne, so müßte ein Samen mit geringer Keimpotenz durch Baden in einer Wuchsstofflösung bei einer bestimmten Wirkstoffkonzentration eine erhöhte Keimpotenz aufweisen. Es gelang aber bisher in keinem Fall, eine Keimungshemmung durch eine Behandlung der Samen mit Wuchsstoff aufzuheben. Nur gealterte Samen, die gegenüber frisch geernteten eine Abnahme ihres Wuchsstoffgehaltes aufweisen, können durch zusätzliche Wuchsstoffgaben in ihrer Keimkraft um einen geringen Prozentsatz gefördert werden. Wuchsstoffreiche Samen dagegen antworten auf eine künstliche Erhöhung ihres Wuchsstoffgehaltes im allgemeinen mit einer Keimungshemmung [*15*].

Zwingende Beweise, den Wuchsstoff als ein Keimungshormon zu bezeichnen, liegen daher nicht vor. Wohl

[1]) Von βλαστάνειν = keimen und χωλύειν = hindern.

aber können in einem Samen, dessen Keimungsprozeß angelaufen ist, Hemmstoffe, die die Wirksamkeit des Wuchsstoffes unterbinden, die Realisierung der ausgelösten Keimpotenz verhindern.

In Äpfelsamen z. B. ist ein Hemmstoff in einem dünnen Häutchen, das den Embryo umgibt, lokalisiert. Gleichzeitig läßt sich auch Wuchsstoff in diesem Häutchen wie im Embryo nachweisen. Eine Entfernung der keimungshemmenden Substanz durch Abschälen dieser Hülle nicht ändert den Wuchsstoffgehalt des Keimlings nicht, läßt ihn aber gleichzeitig auskeimen. Der Hemmstoff des Apfelsamens unterbindet also bei seiner Anwesenheit die Wuchsstoffwirkung im Gewebe, zerstört ihn aber selbst nicht [*53*]. Da er als Blausäure identifiziert wurde, von der wir sahen, daß sie über die Atmung das Wachstum blockiert, wird seine Wirkung als Hemmstoff für die Keimung leicht verständlich. Einen unmittelbaren Einfluß auf den Wuchsstoff nimmt er demnach nicht, vielmehr unterbindet er nur indirekt die Wuchsstoffwirkung und wahrscheinlich auch direkt die Auslösung der Keimpotenz. Eine Erhöhung des Wuchsstoffgehaltes muß also hier wirkungslos bleiben. Bei anderen Objekten scheinen die Verhältnisse ebenso gelagert zu sein, denn die großen Erwartungen, die man in den ersten Jahren der Wuchsstofforschung auf eine Keimungsstimulation der Samen durch Infiltration mit synthetischen Wuchsstoffen gesetzt hatte, erwiesen sich als trügerisch. Trotz dieser großen Enttäuschung ist der Gedanke einer Beteiligung des Wuchsstoffes unmittelbar an der Auslösung der Keimpotenz nicht eingeschlafen, besonders nach Aufdeckung der chemischen Natur weiterer Blastokoline.

Aus der Vogelbeere konnte als wirksames Agens der Keimungshemmung ein *ungesättigtes Lakton*, das *Sorbinöl* (Hexan-2-Olid-5,1) isoliert werden [*28*]. Diese Entdeckung führte zu einer weiteren Überprüfung ungesättigter Laktone (Kumarin, Scillaridin, Daphnetin, Nodakenetin, Umbelliferin u. a.). Alle diese Substanzen zeigen neben einer Keimungshemmung auch eine mehr oder weniger starke Wachstumshemmung [*29*], [*1*], die durch Sprengung des Laktonringes, durch Hydrierung oder auch Glykosidierung der Wirkstoffe verlorengeht. In einzelnen Fällen schlägt dabei die Wachstumshemmung in eine schwache Förderung um. Wenn nun aus dem häufigen Vorkommen von Laktonen, etwa dem Kumarin, in der Pflanze die Schlußfolgerung gezogen wird, daß dieser Substanz eine wachstumsregulatorische Bedeutung zugeschrieben werden muß, so ist dieser Schluß ebenso unberechtigt wie die Folgerung, daß die Pflanze sich der Glykosidierung und Glykosidspaltung zur Wachstumsregulation bedient. Einmal sind die wirksamen Konzentrationen dieser Stoffe auf das Wachstum im Durchschnitt um 5 Zehnerpotenzen höher als die der Wuchsstoffe. Zum anderen ist es nicht möglich, eine Parallele zu ihrem Vorkommen und der Wachstumspotenz eines Organes mit Ausnahme der Samen zu ziehen. Wird aber eine solche wie z. B. im Glykosidhaushalt der Knospen von Erikazeen und Salixarten festgestellt [*58*], bei deren Austreiben die Glykoside verschwinden, so liegt hierfür die Annahme einer Ernährungsfunktion näher als die einer Wachstumsregulation. Außerdem ist bei einem Abbau bzw. einer Spaltung der Glykoside durch Freiwerden des wirksamen Aglykons eher eine Unterbindung des Wachstums als ein Austreiben der Knospen zu erwarten.

Wenn Kumarin oder andere ungesättigte Laktone im Test eine antagonistische Wirkung zu den Streckungswuchsstoffen zeigen, so liegt hier zweifellos eine Verdrängung der Wuchsstoffmolekel von den lipoiden Grenzflächen des Plasmalemmas vor, wobei sie ohne eine Säuregruppe durch Entladung und Verdichtung der Grenzflächen eine Wachstumshemmung auslösen [*55*]. Nur bei Anwendung geringer Konzentrationen ist eine solche Wirkung zu beobachten. Wird dagegen das gesamte Plasma mit diesen Wirkstoffen überschwemmt, so bleibt die antagonistische Wirkung aus; denn in der Wurzel wird die hemmende Wirkung einer hohen Wuchsstoffkonzentration durch sie nicht, wie man von echten Antagonisten erwarten müßte, herabgesetzt, sondern es addieren sich vielmehr die durch Wuchsstoff ausgelöste Wachstumshemmung mit der der Laktone [*36*], und im Sproß ist keine Reaktion auf diese Wirkstoffe bisher bekannt geworden, die ähnlich wie beim Dichloranisol oder der 2,3,5-Trichlorbenzoesäure auf einen Antagonismus zwischen Wuchsstoff und Laktonen schließen ließ. THIMANN und BONNER [*52*] nehmen vielmehr an, daß Kumarin und Protoanemonin ein am Wachstum beteiligtes Enzym blockieren, das durch den Besitz einer Thiol- oder Sulfhydrilgruppe (SH-Gruppe) gekennzeichnet ist. Kumarin und Protoanemonin ebenso wie Jodazetat und Arsenit (vgl. S. 3) sollen über dieses SH-Enzym die Realisierung der Wuchsstoffwirkung unterbinden. Nach unserer Definition können also die Blastokoline je nach ihrer Konzentration sowohl direkt als auch indirekt das Wirken der Streckungswuchsstoffe beeinflussen. *Ihr keimungshemmender Effekt dürfte wohl kaum auf einem Antagonismus zum Wuchsstoff beruhen, sondern bei der in den Früchten und Samen vorliegenden relativ hohen Konzentration ist eine indirekte Einflußnahme auf die Wachstumsprozesse wahrscheinlicher.*

An dieser Stelle sei kurz auf die Wirkung des *Äthylens*, eines gasförmigen Stoffwechselproduktes der Pflanze, hingewiesen, dem sowohl Hemmstoff- als auch Wuchsstoffcharakter zugesprochen wird. Dieser einfachste ungesättigte Kohlenwasserstoff zeigt vielseitige Folgen bei Einwirkung auf die Pflanze, von denen einige auch durch unphysiologisch hohe Wuchsstoffkonzentrationen hervorgerufen werden. Andererseits hemmt Äthylen, in geringer Dosis gegeben, eindeutig das Längenwachstum [*10*]. Ob hierbei die Wuchsstoffbildung selbst [*30*], der Transport des Wuchsstoffes [*9*] oder andere mit dem Wachstum verknüpfte physiologische Prozesse beeinträchtigt werden, steht noch offen. Sicherlich ist der Eingriff des Äthylens komplexer Natur. So wissen wir, daß durch Äthylen die Atmung eine rasche und starke Stimulation erfahren kann. Der Reifeeffekt dieses Gases bei der künstlichen Nachreife von Südfrüchten beruht wohl hauptsächlich hierauf. Ebenso dürfte die Erhöhung der Keimgeschwindigkeit schlecht keimender Samen durch eine kurzfristige Äthylenbehandlung auf den gleichen Effekt zurückzuführen sein. Bei längerer Einwirkung besonders auf vegetative Organe tritt an Stelle der Atmungssteigerung eine Atmungshemmung. Weiterhin wurde eine Erhöhung der Permeabilität und als Folge dieser oder unmittelbar eine Beeinflussung hydrolytischer Prozesse durch Äthylen angenommen,

die wiederum ihrerseits mit dem Wuchsstofftransport oder der Wuchsstoffbildung im Zusammenhang stehen können. Alle diese Beobachtungen wurden im Experiment bei künstlicher Zugabe des Wirkstoffes gemacht. *Aus ihnen kann keine biologische Bedeutung des Äthylens, wenigstens nicht für den Wuchsstoffhaushalt der Pflanze abgeleitet werden.*

b) Hemmstoffe vegetativer Organe der Pflanze.

Als man gelernt hatte, Wuchsstoffe aus pflanzlichen Organen zu gewinnen und zu testen, wurde man bald auch auf wachstumshemmende Substanzen in Stengeln, Blättern und Sprossen aufmerksam. Verschiedene Gewebe der Pflanze verringern, wenn sie in Kontakt mit wuchsstoffhaltigem Agar gebracht werden, dessen Wirksamkeit. Aus dem Gewebe müssen demnach Stoffe in den Agar eindiffundieren, die den Wuchsstoff im Agar zerstören oder im Test ohne Zerstörung desselben seine Wirksamkeit herabsetzen [*27*]. Solange das von Kögl nachgewiesene Auxin als der alleinige Wuchsstoff der höheren Pflanze galt, hat man derartigen wuchsstoffinaktivierenden Substanzen weniger Beachtung geschenkt. Mußten doch alle leicht reduzierenden Agenzien und alle oxydierenden Fermente eine Zerstörung der leicht oxydablen Auxinmolekel bewirken. Daher versuchte man sogar, eine Parallelität zwischen der Fähigkeit von Pflanzenteilen, Wuchsstoff zu inaktivieren, und ihrem Gehalt an Peroxydasen und Katalasen aufzuzeigen [*37*]. Überraschender war dagegen die Entdeckung eines Enzymes im Preßsaft von Bohnenkeimlingen, das bei Anwesenheit von Sauerstoff die gegen Sauerstoff weniger empfindliche β-Indolylessigsäure zerstört [*30*], [*31*]. Wohl das gleiche Enzym konnte im Erbsen- und Haferkeimling nachgewiesen werden [*47*], [*33*]. Die Inaktivierung der β-Indolylessigsäure erfolgt nun nicht, wie man erwarten sollte, durch Sprengung des an sich leicht angreifbaren Indolringes, sondern durch Veränderung der Seitenkette unter Abspaltung von CO_2, aber ebenfalls nur bei Anwesenheit von Sauerstoff. Wenn wir nach den neueren Ergebnissen im Heteroauxin, also in der β-Indolylessigsäure, den eigentlichen Wachstumsregulator der Pflanze sehen, so muß solchen spezifischen Fermenten für die Inaktivierung der β-Indolylessigsäure besondere Beachtung zuerkannt werden. Bisher hat man nur in Preßsäften dieses Ferment nachweisen, aber eine direkte Beziehung zwischen seinem Vorkommen und dem Wachstum der Pflanze noch nicht aufzeigen können. Sollte ein Ferment mit einer solchen direkten Einwirkung auf die Wuchsstoffmolekel auch im normalen Geschehen der pflanzlichen Entwicklung eingreifen, so müßte es als Hemmstoff des Wachstums bezeichnet werden.

Neben derartigen wuchsstoffzerstörenden Stoffen finden sich aber auch Wirkstoffe in vegetativen Organen der Pflanze vor, die wie die Blastokoline in Früchten und Samen nur die Wirksamkeit der Wuchsstoffe auf die Pflanzenzelle herabsetzen [*34*]. Die Wuchsstoffgehaltsbestimmung der Gewebe erleidet dadurch eine nicht unwesentliche Erschwerung. Differieren Wuchsstoff und Hemmstoff in ihren Molekulargewichten erheblich voneinander, so kann die Trennung ohne gewagten chemischen Eingriff durch Diffusion erreicht werden [*11*]. Auf diese Weise ist zwar eine getrennte Bestimmung von Hemmstoff und Wuchsstoff eines Organes möglich, doch erlaubt die geringe Konzentration des so gewonnenen und gereinigten Hemmstoffes nicht seine chemische Identifizierung. Erst in einem Fall ist bisher die Aufdeckung der chemischen Natur eines solchen Hemmstoffes gelungen. Gray und Bonner [*20*] bestimmten den in den Blättern von *Encelia farinosa*, einer in Amerika beheimateten Komposite, vorkommenden Hemmstoff als *3-Azetyl-5-Metoxybenzaldehyd*.

Von einer anderen wachstumshemmenden Substanz, die aus den Keimblättern von Kruziferen und der Kapuzinerkresse gewonnen werden konnte, weiß man nur, daß sie nach Hydrolyse Wuchsstoffcharakter annehmen kann [*46*]. Dieser Hemmstoff scheint — auch sein geringes Molekulargewicht deutet darauf hin — mit dem Heteroauxin verwandt zu sein. Einem solchen Stoffe eine wachstumsregulatorische Bedeutung beizumessen, liegt sehr nahe; doch hat man bisher hierfür nur bei wenigen wachstumshemmenden Substanzen den eindeutigen Nachweis führen können.

Die Terminalknospe der Esche zeigt in der Winterruhe einen sehr hohen Gehalt an Hemmstoffen, dagegen keinen Wuchsstoff. Im Frühjahr beim Austreiben der Knospen nehmen dagegen die Hemmstoffe schnell ab. Gleichzeitig läßt sich nun aber auch Wuchsstoff nachweisen, der laufend zunimmt. Unterbricht man durch Behandlung mit Äthylenchlorhydrin künstlich die Winterruhe, so läßt sich mit Übergang der Knospen vom Ruhezustand zur Aktivität ebenfalls der gleiche Umschlag vom hohen Hemmstoff- zum Wuchsstoffgehalt aufzeigen. Hier sind offensichtlich *Winterruhe mit hohem Hemmstoffgehalt und Frühjahrsaktivität mit hohem Wuchsstoffgehalt korreliert* [*22*].

Nicht ganz so eindeutig liegen die Verhältnisse bei der Kartoffelknolle, deren Keime einige Wochen nach der Reife der Knolle in einem Ruhezustand verharren. Diese Keimruhe kann ebenfalls wie bei der Esche mit dem Vorkommen von Hemmstoffen, die in der Schale gelagert sind, in direkte Beziehung gesetzt werden [*21*]. Kurz nach der Reife ist der Hemmstoffgehalt der Schale sehr hoch, nimmt aber dann laufend ab, und nach etwa 10 Wochen ist mit Aufnahme der Treibbereitschaft der Keime kein Hemmstoff mehr nachzuweisen.

Aber im Gegensatz zu den Knospen der Esche befinden sich während der Keimruhe neben wachstumshemmenden Substanzen auch Wuchsstoffe in ihr, darunter ein Wuchsstoff besonderer Art, der als *inaktiver Wuchsstoff* identifiziert wurde. Da er neben seinem besonderen Charakter als inaktiver Wuchsstoff auch eine Hemmwirkung auf das Wachstum zeigen kann, sahen Funke und Söding [*18*] in ihm einen Antagonisten des Wuchsstoffes und belegten ihn mit dem Namen „*Antiauxin*". Diese Form des Wuchsstoffes konnte beim Mais als das Produkt einer Synthese von Hemmstoff und Wuchsstoff erkannt werden.

c) Hemmstoff und Wuchsstoff in direkter chemischer Bindung.

Das Maiskorn enthält wie die Kartoffel drei verschiedene Wirkstoffe des Streckungswachstums: *einen aktiven Wuchsstoff, den inaktiven Wuchsstoff und einen Hemmstoff* [*56*]. Der letzte ist zu Beginn der Keimung besonders reich in einem schildförmigen Gewebe des jungen Keimlings, dem Skutellum, gelagert, das eine Verbindung zwischen dem Nährgewebe des Korns,

dem Endosperm, und dem Keimling darstellt. Durch das Skutellum werden die Nährstoffe aus dem Endosperm dem jungen Keimling zugeführt. Der aktive Wuchsstoff lagert in erster Linie im Endosperm und wandert während der Keimung mit den Nährstoffen in das Skutellum ein. Der inaktive Wuchsstoff läßt sich dagegen in der Hauptsache nur im Skutellum und im Keimling nachweisen. Während er zu Beginn der Keimung nur in geringen Spuren vorliegt, nimmt er in den ersten drei Tagen derselben ständig zu, korreliert mit einer Abnahme des Hemmstoffes und des aktiven Wuchsstoffes.

Dieser inaktive Wuchsstoff ist ein Wachstumsregulator, dessen wachstumsfördernde Wirkung nicht zerstört, sondern nur *abgeschirmt* ist. Erst nach Überführung in die inaktive Form kann der Wuchsstoff auch in akropetaler Richtung (zur Spitze hin) in der Pflanze transportiert werden, während er in aktiver Form einer streng basipetalen Wanderungsrichtung unterliegt. An Pflanzenorganen appliziert, löst er naturgemäß nur dann ein Wachstum aus, wenn diese Organe in der Lage sind, seine Abschirmung aufzuheben, ihn also zu aktivieren. In der äußersten Spitze des Haferkeimlings erfolgt eine solche Aktivierung [*39*].

Schneidet man diese Spitze ab, so erlangt der Keimling erst nach Ablauf von 2 bis $2^1/_2$ Std die Fähigkeit der Wuchsstoffaktivierung wieder. Er nimmt dann durch erneute Abgabe von aktivem Wuchsstoff sein Wachstum wieder auf. Man hat diesen Vorgang der Wiederaufnahme des Wachstums nach einer Dekapitation mit „*Regeneration der physiologischen Spitze*" bezeichnet. Versieht man nun einen dekapitierten und dazu noch durch frühzeitiges Entfernen des Kornes wuchsstoffarm gemachten Keimling apikal mit einem inaktiven Wuchsstoff enthaltenden Präparat, so zeigt er erst nach Ablauf von 2 Std eine Wachtstumsaufnahme, während ein Präparat mit aktivem Wuchsstoff sofort nach Applikation ein erhöhtes Wachstum auslöst. Auf diese Weise kann der inaktive, aber wieder aktivierbare Wuchsstoff gut von dem aktiven unterschieden werden [*56*].

Die gleichzeitige Abnahme vom aktivem Wuchsstoff und Hemmstoff in den ersten Tagen der Keimung gab Veranlassung zu der Vermutung, daß der inaktive Wuchsstoff mit diesen beiden Wirkstoffen des Maiskornes irgendwie in Verbindung steht. Daraufhin angesetzte Versuche ergaben, daß der Hemmstoff des Maisskutellums mit dem Wuchsstoff des Endosperms eine Bindung eingeht, bei der er seine Hemmwirkung verliert [*40*]. Selbst synthetische reine β-Indolylessigsäure verliert in Verbindung mit dem Maisskutellumhemmstoff ihre Wirksamkeit.

Das Wachstum der Pollenschläuche wird z. B. durch eine Heteroauxinkonzentration von 10^{-4} mol/l um 34% gehemmt. Wird die gleiche Wuchsstoffmenge in eine Hemmstofflösung gegeben, die an sich ebenfalls eine Hemmung in der gleichen Größenordnung auslöst, so addieren sich die Wirkungen der beiden Stoffe nicht, sondern die Pollenschläuche wachsen in einem solchen Gemisch wie in einer wirkstofffreien Nährlösung. Hemmstoff und Wuchsstoff neutralisieren sich gegenseitig in diesem Fall [*41*]. Die gleiche Beobachtung über ein derartiges Zusammenwirken von Hemm- und Wuchsstoff konnte beim Wachstum von Kressewurzeln beobachtet werden [*48*]. Hier verhält sich die Verdünnung eines Hemmstoff/Wuchsstoffgemisches, in der der Hemmstoff allein das Wachstum nicht mehr beeinflußt, während die reine Wuchsstofflösung in dieser Konzentration maximale Wachstumsförderung auslöst, völlig neutral. Während man beim Wachstum der Pollenschläuche noch eine getrennte Einwirkung von Hemmstoff und Wuchsstoff auf die Zelle annehmen kann, ist diese Schlußfolgerung im Falle der Kressewurzeln nicht mehr zwingend, vielmehr kann aus diesem Befund auf *eine direkte Bindung von Hemmstoff- und Wuchsstoffmolekel zu einem neuen Stoff geschlossen werden.* Es liegt nichts näher, als in dieser Verbindung den *inaktiven* Wuchsstoff zu sehen.

Verständlicherweise stand nach Aufdeckung dieser möglichen Zusammenhänge von Hemmstoff, Wuchsstoff und inaktivem Wuchsstoff eine Analyse der chemischen Natur der Wirkstoffe des Maiskornes im Mittelpunkt des Interesses. Der Wuchsstoff des Endosperms ist zweifellos β-Indolylessigsäure [*2*]. Ebenso dürfte der aktive Wuchsstoff des Keimlings in erster Linie Heteroauxin sein, da der aktive Wirkstoff des Haferkeimlings als solches identifiziert wurde [*43*]. Überraschenderweise scheint auch der Hemmstoff des Skutellums ein *Indolderivat* zu sein. Seine Wirkungskurve im Kressetest zeigt nämlich den gleichen Verlauf wie die der β-Indolylessigsäure, nur fehlt ihr die Wachstumsförderung des Heteroauxins in geringen Konzentrationen. Der Hemmstoff wirkt also, sofern überhaupt ein Einfluß auf das Wurzelwachstum zu messen ist, immer wachstumshemmend, aber in der gleichen Weise wie starke Wuchsstofflösungen. Die Wirkungskurve synthetischen *Indolazetaldehyds* deckt sich nun völlig mit der des Hemmstoffes. Da ferner Indolazetaldehyd im Haferkeimling zu β-Indolylessigsäure oxydiert werden kann und der Hemmstoff des Maisskutellums, einseitig an einen intakten Haferkeimling appliziert, an der Auftragungsstelle eine Hemmung des Wachstums, unterwärts aber eine Förderung auslöst [*56*], dürfte die Identität von Maisskutellumhemmstoff und Indolazetaldehyd oder einer Vorstufe desselben sehr wahrscheinlich sein.

Der inaktive Wuchsstoff kann nun durch Hydrolyse leicht wieder in aktiven Wuchsstoff und Hemmstoff gespalten werden [*48*]. Daraus ergibt sich, daß die Inaktivierung des Wuchsstoffes wohl durch eine Esterbindung von Heteroauxin und Hemmstoff zustande kommt. In den Wuchsstoffaktivierungszentren der Pflanze würde demnach eine Spaltung dieser Esterbindung unter der Einwirkung von Fermenten erfolgen, wobei als Spaltprodukte aktiver Wuchsstoff und Hemmstoff entstehen. Setzt man, wie TEGETHOFF [*48*] vorschlägt, für diese Esterspaltung ein Gleichgewicht zwischen dem Ester und seinen Spaltprodukten voraus, so wird nur dann eine anhaltende Aktivierung von Wuchsstoff gewährleistet sein, wenn die Spaltprodukte laufend entfernt werden, d. h. wenn der gebildete Wuchsstoff basipetal abfließen kann und der Hemmstoff entweder abgebaut [*42*] oder ebenfalls in Wuchsstoff umgewandelt wird. Unterbindet man den Abfluß des Wuchsstoffes, z. B. durch Aufsetzen abgeschnittener Keimlingsspitzen auf ein wuchsstoffhaltiges Agarplättchen, so werden die Spitzen ihre Wuchsstoffabgabe bald einstellen und erst wieder aufnehmen, wenn sie auf ein wuchsstofffreies Plättchen gesetzt werden, in das der gebildete Wuchsstoff einwandern kann. Auch am intakten Keimling läßt sich durch Anlegen eines wuchsstoffhaltigen Pastenringes unterhalb der Spitze die Einstellung der Wuchsstoffaktivierung leicht demonstrieren [*39*].

Eine Übertragung dieser Erkenntnisse auf Korrelationserscheinungen an älteren Pflanzen, die bisher einer

einleuchtenden Erklärung nicht zugänglich waren, macht diese nun verständlich. So ist, um nur ein Beispiel zu nennen, das Austreiben der Seitenknospen abhängig vom Wuchsstoffgehalt des Haupttriebes, der durch die Wuchsstoffaktivierung der Terminalknospe auf einem bestimmten Niveau gehalten wird. Wird durch Abschneiden der Terminalknospe der Wuchsstoffnachschub unterbunden und damit der Wuchsstoffspiegel im Stamm gesenkt, so treiben die Seitenknospen aus. Umgekehrt kann durch Applizierung von synthetischem Wuchsstoff auf den Stumpf einer dekapitierten Pflanze das Austreiben der Knospen verhindert werden. Der Wuchsstoffgehalt des Stammes wird nun wie der Wuchsstoff im Agarplättchen, auf das Keimlingsspitzen gesetzt wurden, die laufende Neubildung von Wuchsstoff durch Spaltung aus der inaktiven Form in den Seitenknospen verhindern, da auch hier der gebildete freie Wirkstoff nicht abwandern kann. Erst bei einem mehr oder weniger glatten Abfluß kann eine laufende Wuchsstoffaktivierung und damit ein Austreiben der Knospen stattfinden, das um so stärker ist, je höher das Wuchsstoff-Konzentrationsgefälle von der Knospe zum Stamm ist, wobei die Wuchsstoffmenge in der jungen Knospe durch die Gleichgewichtskonstante, gebildet aus der Konzentration der Spaltprodukte und der des inaktiven Wuchsstoffes, begrenzt wird. *In diesem Gleichgewichtssystem ist somit ein wesentlicher Faktor der Wachstumsregulation der Pflanze zu suchen, für dessen Aufdeckung die Analyse des Maisskutellum-Hemmstoffes entscheidend gewesen ist.*

5. *Schlußbetrachtung.*

Als Kögl neben dem Auxin a das Heteroauxin als weiteren Wuchsstoff der Pflanze entdeckte, verglich er es mit einem Dietrich, mit dem man ebenso wie mit dem Auxin a, dem eigentlichen Schlüssel, das Schloß des Streckungswachstums schließen könne. Heute wissen wir, daß dieses Schloß, auf das die Wuchsstoffe als Schlüssel oder Dietriche passen, recht kompliziert gebaut und mit zahlreichen Zuhaltungen versehen sein muß, welche alle eine besondere Funktion ausüben, die nicht unmittelbar mit dem Streckungswachstum verknüpft sein muß. Das reine Streckungswachstum ist eigentlich nur eine Nebenfunktion des Schlosses, etwa zu vergleichen mit dem Türklinkenriegel, der durch eine einfache Rückwärtsbewegung des Schlüssels sich bedienen läßt. Dazu bedarf es keiner besonderen Ausführung des Schlüssels, sofern dieser nur in das Schlüsselloch paßt und einen genügend langen Bart ohne besondere Feinheiten besitzt. Ein Hemmstoff für das Streckungswachstum ist mit einem Draht zu vergleichen, der in das Schlüsselloch eingeführt dem eigentlichen Schlüssel den Eintritt verwehrt.

Für die Bedienung der Zuhaltungen, die nicht mehr unmittelbar für den Streckungsprozeß, wohl aber für das Wachstum insgesamt einschließlich der Entwicklung der Pflanze verantwortlich sind, ist dagegen eine feine Bearbeitung des Schlüsselbartes erforderlich. Nicht jeder synthetische Wuchsstoff oder Hemmstoff wird die Zuhaltungen in ihrer Gesamtheit bewegen oder blockieren, sondern immer die eine oder andere von der Bewegung ausschließen oder sperren.

Zu Beginn der Wuchsstofforschung hat man naturgemäß dem Schlüssel und den Dietrichen besondere Aufmerksamkeit geschenkt, nun wendet man sich dem Schloß wieder zu. Dazu ist dem Pflanzenphysiologen in den Hemmstoffen ein Hilfsmittel in die Hand gegeben, das in Verbindung mit den Wuchsstoffen geeignet ist, die Bedeutung der einzelnen Zuhaltungen an dem hochkomplizierten Schloß des Wachstums zu analysieren.

Ein neues Forschungsgebiet hat sich aufgetan, das als Neuland zunächst wenig übersichtlich war, in dem sich erst jetzt einige Grenzlinien abzuheben beginnen. Viele Fragen harren noch der Beantwortung, aber heute schon ist die Behandlung der Hemmstoffe nicht nur allein als Ergänzung der Wuchsstofforschung, sondern zur Analyse der Wuchsstoffe selbst und ihrer Wirkungen unentbehrlich geworden.

Literatur.

[1] Audus, L. J.: New Phytologist **48**, 97 (1948). — [2] Berger, J., and G. S. Avery jr.: Amer. J. Bot. **31**, 199 (1944). — [3] Bonner, J.: J. gen. Physiol. **17**, 63 (1933). — [4] Bonner, J.: J. gen. Physiol. **20**, 1 (1936). — [5] Bonner, J., and S. Wildman: VI. Growth sympos. **1946**, 51. — [6] Bonner, J.: Amer. J. Bot. **36**, 323 (1949). — [7] Bonner, J., and J. Thurlow: Bot. Gaz. **110**, 613 (1949). — [8] Bonner, J.: Plant Physiol. **25**, 181 (1950). — [9] Borgström, G.: The transverse reactions of plants. Lund 1939. — [10] Borris, H.: Jb. Bot. **61**, 83 (1943). — [11] Boysen-Jensen, P.: Planta (Berl.) **31**, 653 (1941). — [12] Cholodny, N.: Planta (Berl.) **23**, 289 (1935). — [13] Commoner, B., and K. V. Thimann: J. gen. Physiol. **24**, 279 (1941). — [14] Denffer, D. v.: Naturwiss. **37**, 296 (1950); **37**, 317 (1950). — [15] Drawert, H.: Planta (Berl.) **37**, 1e (1949). — [16] Evenari, M.: Botanic. Rev. **15**, 153 (1949). Zusammenfassende Darstellung der Blastokoline. — [17] Fitting, H.: Biol. Zbl. **56**, 69 (1936). — [18] Funke, H., u. H. Söding: Planta (Berl.) **36**, 341 (1948). — [19] Galston, A. W.: Amer. J. Bot. **34**, 356 (1947). — [20] Gray, R., and J. Bonner: J. Amer. chem. Soc. **70**, 1249 (1948). — [21] Hemberg, T.: Acta Horti bergiani (Upsala) **14**, 133 (1947). — [22] Hemberg, T.: Physiol. Plant. **2**, 37 (1949). — [23] Horawitz, N. H., and A. Srb: J. of biol. Chem. **174**, 371 (1948). — [24] Juel, H.: Dansk Bot. Ark. **12**, 4 (1946). — [25] Köckemann, A.: Ber. dtsch. bot. Ges. **52**, 523 (1934). — [26] Kögl, F.: Ber. dtsch. chem. Ges. **68**, 16 (1935). — [27] Kornmann, P.: Ber. dtsch. bot. Ges. **53**, 523 (1935). [28] Kuhn, R., u. D. Jerchel: Ber. dtsch. chem. Ges. **76**, 413 (1943). — [29] Kuhn, R., F. Moewus, E. F. Möller u. H. Lettré: Naturwiss. **31**, 468 (1943). — [30] Laan, P. A. van der: Recueil Trav. bot. néerl. **31**, 691 (1934). — [31] Larsen, P.: Planta (Berl.) **30**, 160 (1939). — [32] Larsen, P.: Planta (Berl.) **30**, 673 (1939). — [33] Larsen, P.: Amer. J. Bot. **36**, 32 (1949). — [34] Linser, H.: Planta (Berl.) **31**, 32 (1940). — [35] Moewus, F.: Ber. Germ. Sci 1939—1946, Biochem., Teil 2, S. 185. 1948. — [36] Moewus, F.: Biol. Zbl. **68**, 58 (1949). — [37] Overbeck, J. van: Proc. nat. Acad. Sci. USA **21**, 292 (1935). — [38] Pohl, R.: Planta (Berl.) **25**, 720 (1936). — [39] Pohl, R.: Ber. dtsch. bot. Ges. **56**, 368 (1938). — [40] Pohl, R., u. B. Tegethoff: Naturwiss. **36**, 319 (1949). — [41] Pohl, R.: Biol. Zbl. **70**, 119 (1951). — [42] Pohl, R.: Biol. Zbl. **70**, 285 (1951). — [43] Reinert, J.: Z. Naturforschg **5b**, 374 (1950). — [44] Schopfer, W. E., u. M. L. Bein: Experientia **4**, 147 (1948). — [45] Snyder, W. E.: Plant Physiol. **24**, 195 (1949). — [46] Stewart, W. S., W. Bergen and C. Redemann: Science (Lancaster, Pa.) **98**, 185 (1939). — [47] Tang, J. W., and J. Bonner: Amer. J. Bot. **35**, 570 (1948). — [48] Tegethoff, B.: Planta (Berl.) **38**, 648 (1951). — [49] Thimann, K. V., and W. D. Bonner: Plant Physiol. **23**, 158 (1948). — [50] Thimann, K. V., and W. D. Bonner: Amer. J. Bot. **35**, 271 (1948). — [51] Thimann, K. V., and W. D. Bonner: Amer. J. Bot. **36**, 214 (1949). — [52] Thimann, K. V., and W. D. Bonner: Science (Lancaster, Pa.) **109**, 144 (1949). — [53] Veh, R. v., u. H. Söding: Ber. dtsch. bot. Ges. **55**, 270 (1937). — [54] Veldstra, H.: Enzymologia **11**, 97 (1944). — [55] Veldstra, H., u. E. Havinga: Enzymologia **11**, 373 (1944). — [56] Voss, H.: Planta (Berl.) **30**, 252 (1939). — [57] Went, F. W.: Recueil Trav. bot. néerl. **25**, 1 (1928a). — [58] Weevers, Th.: Recueil Trav. bot. néerl. **7**, 1 (1910). — [59] Wiesner, J.: Ber. dtsch. bot. Ges. **15**, 503 (1897). — [60] Zimmerman, P. W.: Torreya **43**, 98 (1943).

Botanisches Institut der Universität Freiburg i. Br.

Eingegangen am 7. Juni 1951.

Die Bedeutung von Kristallbaufehlern für die Physik fester Körper*).

Von R. W. Pohl, Göttingen.

Im Vordergrund der physikalischen Forschung stehen seit vielen Jahren zwei Gebiete: Erstens die Erforschung der Atomkerne, zweitens die Erforschung der festen Körper. Die Kernphysik ist in weitesten Kreisen bekannt geworden, aber leider nicht unter den Gesichtspunkten, die den Physikern am Herzen liegen. Weite Kreise sehen in den Ergebnissen der Kernphysik nur ein mächtiges Hilfsmittel für die Bewältigung der Aufgabe, das von Menschen Geschaffene wieder klein zu schlagen und zu zerstören.

Das zweite große Arbeitsgebiet der Physik, die Erforschung der festen Körper, ist in weiten Kreisen kaum bekannt. Das ist eigentlich recht seltsam. Feste Körper spielen doch in unserem Leben eine ganz unentbehrliche Rolle. Man versuche sich nur einmal im Scherz klarzumachen, wie das gesamte organische Leben auf dieser Erde aussehen würde, wenn es keine festen Körper gäbe.

Unter dem Begriff fester Körper werden im täglichen Leben sowohl Kristalle wie Gläser zusammengefaßt. Für physikalisch Geschulte ist das eine „terrible Simplifikation". — Wir wollen heute nur von Kristallen sprechen, und zwar sowohl von großen einheitlichen Kristallen (Kalkspat, NaCl, usw.) wie von mikrokristallinen Gefügen, die wir in allen im täglichen Leben benutzten Metallstücken finden.

Das gemeinsame Merkmal aller Kristalle ist, wie ja heute allgemein bekannt, die regelmäßige Anordnung der einzelnen Bausteine (Atome, Ionen oder Molekeln) in Form räumlicher Gitter. Für unsere Zwecke genügen zweidimensionale flächenhafte Modelle, wie in Fig. 1.

Der Laie denkt bei festen Körpern stets an starre und in ihrer inneren Beschaffenheit unveränderliche Gebilde, also an Gebilde, in denen die einzelnen Bausteine fest an ihren Orten verharren. Davon ist aber in Wirklichkeit keine Rede. Oft ist das Innere fester Körper ein Schauplatz lebhaften Geschehens. Das können wir schon einer alltäglichen Erfahrung entnehmen. Ein jeder kennt sie, der schon einmal eine Kiste zugenagelt hat. Bei dieser Tätigkeit kann man leicht einen Nagel krumm schlagen, aber ihn nur mühsam wieder gerade klopfen, weil der krumme Nagel „verfestigt" worden ist.

Diese Erfahrung wiederholen wir unter etwas übersichtlicheren Bedingungen. Wir nehmen einen weich geglühten Kupferdraht (Länge etwa 1 m, $\varnothing = 0{,}4$ mm), befestigen ihn am oberen Ende und ziehen am unteren Ende mit Kräften, die wir mit Hilfe angehängter Metallklötze herstellen. Die durch diese Kräfte bewirkten Längenänderungen werden mit einem umlaufenden Zeiger weithin sichtbar gemacht (Fig. 2).

Bei kleinen Kräften wird der Draht elastisch gedehnt, d.h. er nimmt bei Entlastung seine ursprüngliche Länge wieder an. Bei größeren Kräften beginnt der Draht zu fließen, d.h. seine Längenänderung geht bei der Entlastung nur noch zum kleinen Teil zurück. Bei Wiederholung mit noch größeren Kräften beginnt der Draht wieder zu fließen, wieder tritt nach einigen Sekunden Stillstand auf, und so fort. Dieses Fließen ändert den Draht in sehr radikaler Weise. Der weiche

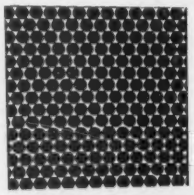


Fig. 1. Flächenhaftes Modell eines fehlerfreien Kristalles, hergestellt mit Stahlkugeln auf einer Glasplatte.

Kupferdraht ist hart und *federnd* geworden (siehe Satzbeschriftung von Fig. 2). Das nennt man, wie bereits erwähnt, *Verfestigung*.

Wir wollen die Verfestigung trotz ihrer großen Bedeutung nicht weiter verfolgen. Für uns genügt als Ergebnis einer experimentellen Beobachtung die Tatsache, daß im Inneren eines festen Körpers etwas geschehen kann, das seine Eigenschaften weitgehend verändert.

Fig. 2. Dehnung und Verfestigung eines Kupferdrahtes. Länge anfänglich 85 cm, Durchmesser 0,3 mm. Einer vollen Umdrehung des Zeigers entspricht eine Längenänderung um 1 cm. Am Schluß des Versuches werden zwei gleich lange Stücke des weichen und des verfestigten Kupferdrahtes nebeneinander in einen Schraubstock eingeklemmt und mit dem Finger angestoßen. Der weiche Draht wird verbogen, der verfestigte schwirrt federnd hin und her.

Beim Ziehen mit der Kraft	macht der Zeiger einen Ausschlag von	und geht bei Entlastung
0,1 Kilopond	8 Grad	auf Null zurück
0,3 „	24 „	
0,5 „	40 „	
0,6 Kilopond	50 Grad	nicht mehr auf Null zurück
0,8 „	315 „	
1,0 „	2 Umdrehungen	
1,2 „	$6^1/_2$ „	
1,4 „	12 „	
1,5 Kilopond ist der Draht nach 18 Umdrehungen zerrissen		

Die nächsten experimentellen Beobachtungen sollen zeigen, daß sich Änderungen in der inneren Beschaffenheit fester Körper aus einer statistischen Folge lokaler

*) Niederschrift eines allgemein verständlichen Experimentalvortrages, der in der öffentlichen Jahressitzung der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen am 2. 6. 51 gehalten worden ist.

Einzelereignisse zusammensetzen. — Die beiden nächsten Versuche dienen der Vorbereitung, der dritte ist der Hauptversuch.

Der erste Versuch soll klar machen, was wir unter einer statistischen Folge oder einem statistischen Geschehen verstehen wollen.

Wir bringen einige hundert kleine Hg-Tropfen in eine mit Wasser gefüllte Schale (Fig. 3). Mit absoluter Sicherheit können wir behaupten, daß sich, wenn wir genügend lang warten, alle Tropfen zu einem großen vereinigen werden. Kein Mensch aber kann voraussagen, in welcher Weise und in welcher zeitlichen Reihenfolge das im einzelnen geschehen wird.

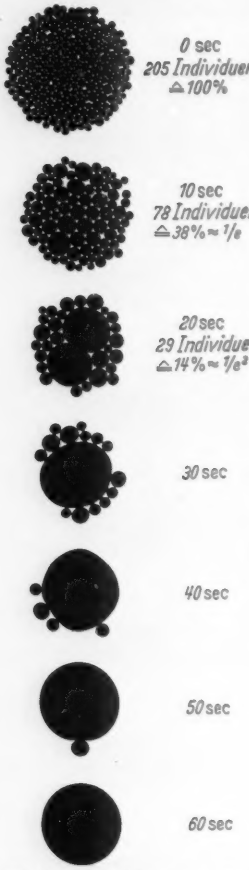


Fig. 3. Vereinigung von Hg-Tropfen in Alkohol (mit einem sehr kleinen Zusatz von Glyzerin) als experimentelles Beispiel eines statistisch ablaufenden Vorgangs (mit dem aber keineswegs ein Absterben der Individuen im Sinne einer Eintreffertheorie „bewiesen" werden soll). — Photographische Aufnahmen von Mechanikermeister W. Sperber mit je $4 \cdot 10^{-3}$ sec Belichtungszeit. Die großen Tropfen sind verzerrt, weil sie durch Aufnahme kleinerer Individuen in Schwingungen geraten.

Betrachten wir das, was sich im Verlauf von etwa 1 min vor unseren Augen abspielt (Fig. 3): Die größeren Tropfen wachsen auf Kosten der kleinen. Es ist wie im Leben: Die Großen fressen die Kleinen. Wie lange die einzelnen kleinen oder mittelgroßen Individuen sich halten, ist allein eine Frage des statistischen Zufalles. Sicher ist nur, daß am Ende nur ein einziger großer Tropfen übrigbleibt.

Natürlich kann man das große Gebilde durch gewaltsame Eingriffe wieder zerstören, aber dann wiederholt sich die Geschichte. Im einzelnen ist der zeitliche Ablauf ein ganz anderer, jedoch bleibt das Ergebnis das gleiche.

Mit diesem Versuch haben wir uns über den Sinn der Worte „statistisches Geschehen" verständigt. — Der nächste Versuch erinnert an eine elementare Tatsache aus der Elektrizitätslehre. In Fig. 4 ist eine Spule mit einigen 100 Windungen mit einem Strommesser verbunden. Dicht neben der Spule steht ein kurzer Stabmagnet NS. Man kann ihn um die vertikale Achse drehen, so daß der Nordpol abwechselnd nach rechts oder nach links zeigt. Während jeder Richtungsänderung schlägt der Zeiger des Strommessers aus, es fließt ein Strom. (Beiläufig bemerkt: Technisch angewandt findet man diesen Versuch in der kleinen Lichtmaschine der Fahrräder.)

Mit diesen Vorkenntnissen machen wir jetzt einen wichtigen Versuch. Auch er knüpft an eine einfache Beobachtung an, die wohl den meisten noch aus der Kinderzeit vertraut ist: Wir nähern einem Stabmagneten NS einen Eisendraht *D*. Dadurch wird auch der Eisendraht zu einem Magneten. Dieser Vorgang, kurz *Magnetisierung* genannt, entsteht durch ein statistisches Geschehen im Inneren des Drahtes.

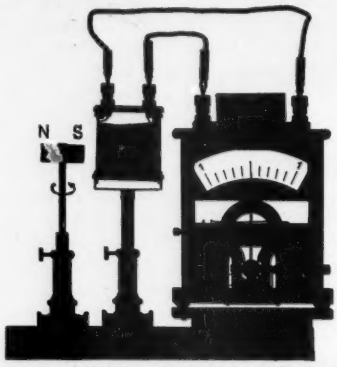


Fig. 4. Erzeugung elektrischer Ströme durch Drehung eines vor einer Spule stehenden Stabmagneten („Induktion").

Es verläuft ebenso, als ob sich im Innern des Drahtes in winzigen Bereichen der Versuch der Fig. 4 statistisch wiederholt.

Um das zu zeigen, umfassen wir den Draht mit einer Spule und verfahren im übrigen wie in Fig. 5. Den Strommesser ersetzen wir zweckmäßig durch einen Lautsprecher, außerdem registrieren wir den zeitlichen Stromverlauf auf einem Leuchtschirm. Wir

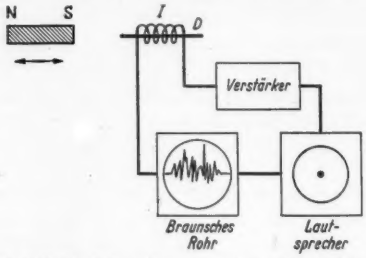


Fig. 5. Statistische Schwankungen bei der Magnetisierung eines dünnen Eisendrahtes *D*. Er befindet sich zusammen mit der Induktionsspule in einem nicht mitgezeichneten, zum Schutz gegen magnetische Störungen dienenden Eisenrohr von etwa 2 cm Wandstärke.

werden Kurven erhalten, wie sie ein jeder von den Schallplatten her kennt. Diese Kurvenbilder halten sich nur während des kurzen Bruchteiles einer Sekunde, so daß der gleiche Leuchtschirm sofort wieder aufnahmebereit ist.

Nun der Versuch: Wir nähern den Stabmagneten dem Eisendraht. Der Lautsprecher knattert, auf dem Leuchtschirm sehen wir statistisch unregelmäßige Ströme, wie in Fig. 5 skizziert.

Von der Magnetisierung gilt das gleiche wie von der Verfestigung: Sie ist von größter Bedeutung. Trotzdem wollen wir auch sie nicht weiter verfolgen. Für uns genügt hier als Ergebnis experimenteller Beobachtung die Tatsache, daß Änderungen im Innern fester Körper durch statistisch verteilte Einzelergebnisse vor sich gehen.

Mit der Feststellung dieser experimentellen Tatsachen, deren Zahl sich leicht vermehren ließe, ist es natürlich nicht getan. Man will verstehen, wie diese statistischen Vorgänge im Inneren der Kristalle zustande kommen können.

Das Idealbild eines fehlerfreien Kristalles (Fig. 1) läßt für Ortswechsel und Umgruppierung der Bausteine überhaupt keinen Platz. Folglich ist die Idealisierung in einem fehlerfreien Modell zu weit getrieben. Alle wirklichen Kristalle müssen Fehler enthalten. Nur durch Baufehler können die Bausteine die Ausweichmöglichkeiten erhalten, die Platzwechsel und Umgruppierungen zulassen.

In einem groben Schema wollen wir für unsere heutigen Zwecke an Hand flächenhafter Modelle drei Sorten von Kristallbaufehlern unterscheiden:

1. Eine Unterteilung des großen Kristalles in viele kleine einzelne Bereiche, die gegeneinander etwas gekantet oder verschoben sind (Fig. 6, in der die einzelnen Bereiche noch in sich fehlerfrei angenommen sind).

Benutzt man die Spaltfläche eines guten Kristalles bei schräger Aufsicht als Spiegel, so erkennt man kleine gegeneinander schwach geneigte Flächen. Eine ähnliche Aufspaltung muß man auch dort annehmen, wo selbst das Mikroskop nichts mehr erkennen läßt.

Dort, wo die einzelnen etwas gegeneinander gekippten oder verschobenen Bereiche aneinander grenzen, befinden sich Fugen oder, im räumlichen Modell, „innere Oberflächen". Von ihnen wird der ganze große Kristall wie von einem unregelmäßigen Netzwerk durchzogen.

2. Auch die einzelnen kleinen Kristallbereiche sind in sich nicht fehlerfrei. Es gibt viele Löcher oder unbesetzte Gitterplätze (Fig. 7). Diese Löcher haben keinen festen Ort. Sie diffundieren im Spiel der Wärmebewegung. Dabei ist es gleichgültig, ob man sagt, ein Baustein diffundiert nach rechts, oder ein Loch diffundiert nach links. Wesentlich ist nur, daß Loch und Baustein ihre Plätze tauschen.

Besteht ein Kristall, wie z. B. NaCl oder KBr, aus positiv geladenen Metallionen und negativ geladenen Halogenionen, so bekommt die Diffusion der Bausteine oder der Löcher im elektrischen Feld eine Vorzugsrichtung. Auf diese Weise entsteht eine elektrolytische oder Ionenleitung.

3. In den einzelnen Bereichen sind gitterfremde Atome eingebaut. Sie bewirken lokale Verzerrungen des Gitters (Fig. 8).

Hat man sich diese Bilder einmal klargemacht, so ist man nicht überrascht, daß Gase und Dämpfe in Kristalle hineindiffundieren und von den inneren Oberflächen aus bis in die ungestörten kleinen Kristallbereiche eindringen können.

An den nächsten Versuch gehen wir gleich mit diesen Vorstellungen heran. Wir nehmen eine dünne durchsichtige Schicht von Kupferjodid, versehen sie mit zwei Elektroden aus Platin und schalten die Schicht in einen Stromkreis, der eine Stromquelle und einen empfindlichen Strommesser enthält (Fig. 9). — Dann schieben wir von unten über die Schicht einen Glaskasten. Auf seinem Boden liegen einige Jodkristalle, so daß die Zimmerluft im Kasten etwas Joddampf enthält, etwa 1 Jodmolekel auf 3500 Luftmolekeln. Nach kaum 1 sec hat sich der elektrische Strom rund verzehnfacht. — Und der Grund? In dieser kurzen Zeit sind Jodmolekeln in die feste Kristallschicht hineindiffundiert. Sie sind als gitterfremde Bestandteile in das Gitter des Kupferjodids eingedrungen und haben dadurch das Gitter auch im Inneren seiner kleinen Bereiche gestört. Diese Störung hat aber nicht nur die elektrische Leitfähigkeit des Kupferjodids vergrößert, sondern ihren Mechanismus radikal geändert. Vorher handelte es sich in dem durchsichtigen Kupferjodidkristall um eine *Ionen*-Leitung. Bei Anwesenheit überzähliger Jodatome wandern auch *Elektronen* in dem durchsichtigen Kristall, so wie man es früher nur für Metalle kannte. Dabei überwiegt die Elektronenleitung weitaus die zuvor vorhandene Ionenleitung.

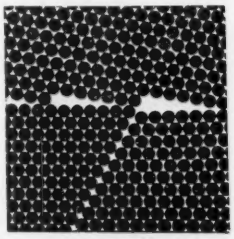


Fig. 6. Flächenhaftes Modell einer Stelle, in der in einem Kristall drei fehlerfreie Bereiche zusammenstoßen. Die beiden unteren Bereiche sind gegeneinander verschoben. Der dritte obere Bereich ist gegen beide gekippt.

Dieser Versuch hat sehr weitgehende Konsequenzen. Er gehört zu dem wichtigsten, was man bei einer modernen Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge vorzuführen hat. Für unsere Zwecke hat er zwei Tatsachen ergeben: 1. Es können fremde Molekeln in Kristallgitter hineindiffundieren und sich im Gitter festsetzen. 2. Die auf diese Weise zusätzlich erzielten Störungen des normalen Gitterbaues können wichtige physikalische Eigenschaften der Kristalle radikal verändern, obwohl die Konzentration dieser Gitterfehler sehr klein ist.

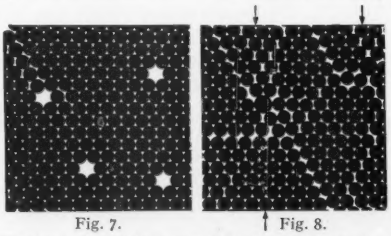


Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 7. Flächenhaftes Modell eines Kristallbereiches, in dem einzelne Bausteine fehlen, so daß die Lücken den benachbarten Bausteinen Gelegenheit zum Platzwechsel bieten.

Fig. 8. Flächenhaftes Modell eines Kristallbereiches, der durch fremde, größere Bausteine gestört ist.

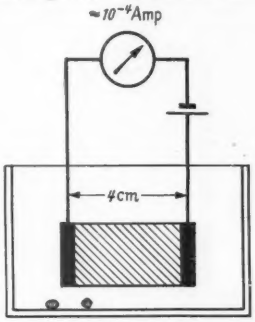


Fig. 9. Karl Baedekers Fundamentalversuch über die Elektronenleitung in durchsichtigen Kristallen (1908). Zur Herstellung der CuJ-Schicht werden erst Elektroden aus Platin auf eine Quarzglasplatte aufgedampft, dann wird eine dünne Kupferschicht aufgedampft, und diese wird in einer Jodatmosphäre in Jodid verwandelt. Vor Beginn des Versuches wird die CuJ-Schicht etwa 20 min in einem elektrischen Ofen auf 110° C erwärmt, um eventuell überzählige Jodatome herauszudampfen.

Die Anzahl der fremden Molekeln ist oft so gering, daß sie sich dem Nachweis nach chemischen Methoden

entziehen. In diesen Fällen ist man erst weiter gekommen, als man *optische* Methoden zur Hilfe nehmen konnte. Das soll an zwei Beispielen gezeigt werden, die die Photochemie in festen Körpern betreffen.

Zunächst soll ein KCl-Kristall durch Röntgenlicht photochemisch zersetzt werden. Der Kristall ist klar durchsichtig wie Glas. Er besteht aus positiv geladenen Kaliumionen und negativ geladenen Chlorionen. Das Röntgenlicht bewirkt, daß Elektronen die Chlorionen verlassen und sich an Kaliumionen anlagern. Dadurch werden, kurz gesagt, die positiven Kaliumionen in Kaliumatome und die Chlorionen in Chloratome verwandelt. Die Kaliumatome vermögen in ihrer Gitterumgebung *sichtbares* Licht zu absorbieren, und daher geben sie dem Kristall eine lebhafte Färbung (rotviolett).

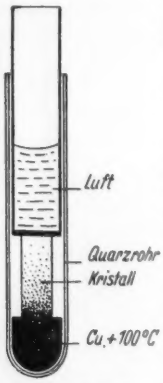


Fig. 10. Einfluß der Temperatur auf die Verfärbung eines KBr-Kristalles durch ultraviolettes Licht. Der Kristall war durch einen kleinen Zusatz von KH sensibilisiert worden.

Es genügt, das Röntgenlicht etwa 10 sec auf den Kristall einwirken zu lassen. Wir können also hier im Gegensatz zur photographischen Platte das Ergebnis der Bestrahlung mit Röntgenlicht sofort sehen, ohne, wie bei der photographischen Platte, eine chemische Entwicklung zur Hilfe nehmen zu müssen: Hier in unserem Kristall ist die Lichtwirkung nicht *„latent"*. Das ist lediglich eine Folge davon, daß der Kristall etliche Millimeter dick ist, die Silberbromidschicht einer photographischen Platte aber nur einige tausendstel Millimeter.

Bei der Ausführung des Versuches sehen wir außerdem noch etwas anderes: Eine sehr geringe Haltbarkeit der photochemischen Verfärbung. Die Färbung verblaßt in wenigen Sekunden vor unseren Augen. Auf die photographische Platte übertragen, bedeutet das: Das latente Bild ist nicht haltbar, es zerfällt.

Damit entsteht die Frage, wie kann man die photochemischen Reaktionsprodukte stabilisieren? Antwort: Indem man mit fremden Molekeln geeignete Fehler des Gitterbaues hervorruft.

Diese Aufgabe kombinieren wir gleich mit einer zweiten: Die Reaktionsprodukte sollen nicht nur stabilisiert werden; wir wollen erreichen, daß man sie nicht nur mit Röntgenlicht, sondern auch mit ultraviolettem Licht erzeugen kann.

Zu diesem Zweck bringen wir Wasserstoffionen in das Kristallgitter hinein. Zur Abwechslung nehmen wir diesmal Kaliumbromid, um uns den Verhältnissen bei der photographischen Platte, die bekanntlich Silberbromid verwendet, noch mehr zu nähern.

Den Wasserstoff bringen wir auf dem Wege der Diffusion in den Kristall hinein, und zwar in zwei Schritten, mit denen wir uns hier nicht aufhalten wollen.

Es folgt der Versuch: Der Kristall wird einige Sekunden mit dem ultravioletten Licht eines Cd-Funkens belichtet. Dabei wird sein unteres Ende durch einen warmen Kupferklotz erwärmt, das obere durch ein aufgesetztes Gefäß mit flüssiger Luft gekühlt (Fig. 10).

Auf diese Weise können wir zeigen, daß die Temperatur auf die photochemische Reaktion einen entscheidenden Einfluß ausübt. Das kalte Ende wird wenig oder gar nicht verfärbt, die wärmeren Teile hingegen intensiv blau. Wieder *sehen* wir die Lichtwirkung: Sie ist nicht „latent", sondern direkt für das Auge erkennbar. Die Empfindlichkeit eines solchen Kristalles ist die gleiche wie die der besten photographischen Platte.

Es waren 4 Erscheinungen, mit denen wir uns kurz beschäftigt haben: 1. Verfestigung, 2. Magnetisierung, 3. Elektronenleitung in Nichtmetallen, 4. Photochemie. — Der Gedankengang der Ausführungen war kurz wiederholt der folgende:

Die Verfestigung sollte zeigen, daß sich im Inneren fester Körper Vorgänge abspielen können.

Die Magnetisierung ließ gut erkennen, daß es sich dabei um statistische Vorgänge handelt.

Bei der Elektronenleitung in Nichtmetallen konnten wir sehen, wie Gitterfehler, die durch fremde Bausteine hervorgerufen werden, das Verhalten fester Körper radikal zu verändern vermögen.

Die in der Physik fester Körper wirksamen Mengen fremder Atome entziehen sich oft ihrer Messung nach chemischen Methoden. Dann nimmt man optische Methoden zur Hilfe. Das sollten die aus dem Gebiet der Photochemie gebrachten Versuche erläutern.

Mit den vier hier zusammengestellten Erscheinungen ist natürlich die Physik der festen Körper und ihre Abhängigkeit von Fehlern des Gitterbaues in keiner Weise erschöpft. Wir haben nur 4 Teilgebiete herausgegriffen und viele andere nicht einmal erwähnt.

Auch für die herausgegriffenen Teilgebiete haben wir je nur eine einzige Stichprobe gebracht, um zu zeigen, um was es sich handelt.

Zur Auffrischung unserer Schulkenntnisse brauchten wir den Versuch mit der Spule und dem drehbaren Stabmagneten (Fig. 4). In ihm ist im Prinzip die gesamte moderne Starkstromtechnik enthalten.

Das entsprechende gilt von den Versuchen, die uns während des Vortrages beschäftigt haben. Jeder einzelne ist grundlegend für je ein Teilgebiet der Physik fester Körper, das auch technisch große Bedeutung besitzt und daher auch von technischer Seite unter Einsatz größter Mittel bearbeitet wird.

Damit gelange ich zum letzten Punkt. Die wirtschaftliche Bedeutung der heute behandelten Erscheinungen ist absichtlich ganz beiseite gelassen worden. Das hatte zwei Gründe. Der erste ist einmal vor über 20 Jahren in einer Festrede in der Aula unserer Universität formuliert worden[1]). Diese Sätze werden hier abgedruckt:

„Auch physikalische Institute brauchen Geld. Den Stellen, die über das Geld verfügen, ist nicht immer ein besonderes physikalisches Verständnis zu eigen. — Es gibt eine schöne Geschichte von einem Physiker, der um Mittel wirbt. In heller Begeisterung für seine Sache setzt er auseinander, wie er in kühner Synthese ein weites Erscheinungsgebiet zusammengefaßt hat, wie eine ganz einfache Gleichung $f(x) + g(y) = 0$ die ganze Fülle der

[1]) Pohl, R. W.: Festrede zur Reichsgründungsfeier der Universität Göttingen am 18. 1. 28. Veröffentlicht in der Festschrift zur Vierteljahrhundert-Feier der Gelehrtenschule des Johanneums zu Hamburg. Hamburg: Broschek & Co. 1929.

Einzeltatsachen umschließt. — Und darauf die Antwort: Nun, wenn das alles Null ist, warum interessiert Sie das, warum schreiben Sie das erst hin?

Wenn dann der arme Physiker sich auf seinem weiteren Bittgang mit einer Feder aus der technischen Physik schmückt und beredt auseinandersetzt, wieviel Geld mit seinen wissenschaftlichen Plänen verdient werden könne, so ist das wie Notwehr zu bewerten und mag im Einzelfalle durchgehen.

Sehr bedenklich aber wird es, wenn dies Verfahren sich ob seiner Bequemlichkeit und prompten Wirkung einbürgert. Wie die anderen Naturwissenschaftler sollen auch die Physiker bei der Anforderung ihrer Hilfsmittel nicht den späteren wirtschaftlichen Nutzen ihrer Arbeit in den Vordergrund stellen. Sie schädigen damit andere Wissenschaften, denen das bequeme Argument des wirtschaftlichen Nutzens nicht zur Verfügung steht, deren Pflege aber unserer Universität nicht minder am Herzen liegt."

Zu diesem ersten Grund kommt ein zweiter hinzu. Es handelt sich heute um eine Festsitzung der Göttinger *Akademie*. In der Akademie sind sehr verschiedene Richtungen wissenschaftlicher Arbeit vertreten. Was den Mitgliedern der Akademie gemeinsam ist, sind nicht wirtschaftliche Gesichtspunkte, sondern etwas ganz anderes: Es ist das Streben, wenigstens hier und da ein ganz bißchen Klarheit zu gewinnen in der überwältigenden Fülle rätselvollen Geschehens, das ein jeder staunend vor sich sieht, der die Natur und das Leben der Menschen mit offenen Augen betrachtet.

I. Physikalisches Institut der Universität Göttingen.

Eingegangen am 21. Juli 1951.

Der Einfluß der Sonne auf die Helligkeit der Kometen.

Von M. BEYER, Hamburg-Bergedorf.

Nachdem die Astronomie innerhalb der letzten Jahrzehnte auf fast allen Gebieten ungeheure Fortschritte erzielt hat und weit in den Weltenraum vorgestoßen ist, sollte man annehmen, daß die Himmelskörper unseres Sonnensystems, zu dem auch die Kometen gehören, aufs beste bekannt sind. Und doch ist das ein Trugschluß. Gerade die Kometen geben uns Rätsel auf, deren Lösung bislang nicht zu finden war. Die Zahl der alljährlich zur Beobachtung kommenden Schweifsterne ist gar nicht so klein, wie oft angenommen wird, und dürfte durchschnittlich etwa 6 bis 7 betragen. Viele von ihnen sind aber so lichtschwach, daß sie nur mit großen Fernrohren photographisch verfolgt werden können. Auch von den übrigen, der visuellen Beobachtung zugänglichen Objekten werden nur wenige hell genug, um bei ihnen die modernen Untersuchungsmethoden der Astrophysik anwenden zu können. Berücksichtigt man außerdem die Schwierigkeiten, die sich der Beobachtung durch die rasche Bewegung dieser Himmelskörper, durch ihren oft sehr ungünstigen Stand in Horizontnähe und die unsicheren Wetterverhältnisse entgegenstellen, so ist es begreiflich, daß die Kometenphysik nur sehr schleppende Fortschritte machen konnte.

Die äußeren Erscheinungsformen der Kometen sind sehr verschieden. Von den matten, verwaschenen Nebelwölkchen der teleskopischen Objekte bis zu den prächtigen Gebilden, wie wir sie heute fast nur noch von älteren Abbildungen kennen, kommen alle möglichen Zwischenformen vor. Der auffälligste und hellste Teil (Fig. 1) ist in allen Fällen der Kopf, der aus einem runden, ovalen oder fächerförmigen Nebel, der Koma, besteht, dessen äußere Grenzen verwaschen in den Himmeluntergrund verlaufen. Diese neblige Materie ist im Innern der Koma mehr oder weniger stark verdichtet und zeigt an ihrer hellsten Stelle einen sternartig scharfen, zumeist schwachen Kern. In größerer Sonnennähe entwickeln manche Kometen diffuse Ausstrahlungen, die sehr verschieden gerichtet sein können. Die langen und hellen Schweife der sehr sonnennahen Kometen folgen dabei meistens der Richtung des Strahlungsdrucks der Sonne. Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen spiegelt sich besonders in den verschiedenen Ausmaßen der Kometen wider. So liegen die Durchmesser der Köpfe

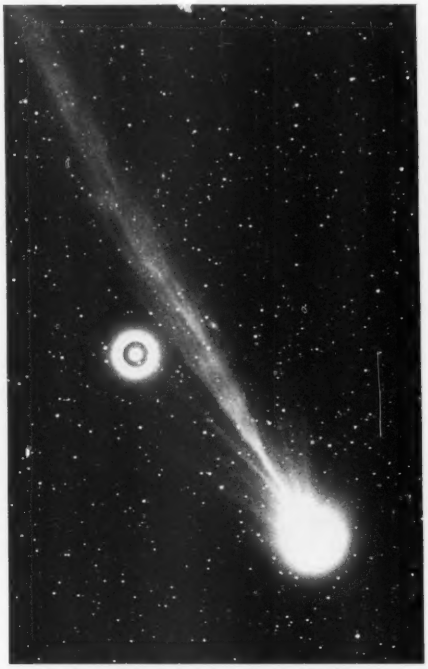


Fig. 1. Aufnahme des Kometen Whipple-Fedtke (1942g) von C. HOFFMEISTER, Sternwarte Sonneberg.

zwischen etwa 1 und 50 Erddurchmessern. Sie erreichen mithin unter Umständen die Größe des halben Sonnenballs. Die Schweife haben in Ausnahmefällen Längen gezeigt, die den Abstand des Planeten Mars von der Sonne übertreffen. Demgegenüber sind die Durchmesser der Kerne alle sehr klein und dürften kaum wenige Kilometer überschreiten. Die Gesamtmasse eines kleineren Kometen wird auf etwa 1000 bis 10000 Tonnen geschätzt, ließe sich also leicht mit

einem Frachtschiff transportieren. Im Gegensatz zu den Planeten, die fast alle in kreisähnlichen Bahnen um die Sonne laufen, bewegen sich die Kometen zumeist in sehr langgestreckten Ellipsen, die oft zu ungeheuren Umlaufszeiten führen. Auf Grund einer Statistik der Bahnelemente hat J. H. Oort [*1*] in Leiden unlängst die Gesamtzahl aller beobachtbaren Kometen auf 10^{11} geschätzt. Diese hundert Milliarden Kometen umgeben unsere Sonne in einer Riesenwolke mit einer Gesamtmasse von nur etwa $^1/_{100}$ bis $^1/_{10}$ unserer Erdmasse.

Der übliche Weg, den Geheimnissen des Aufbaus und Leuchtens der Himmelskörper mit Hilfe der Spektralanalyse auf die Spur zu kommen, scheitert bei den Kometen meistens an der äußerst geringen Flächenhelligkeit von Koma und Schweif, so daß Spaltspektrogramme nur in ganz seltenen Fällen zu erhalten sind. Ganz grob kann als Regel gelten, daß die Kerne im wesentlichen das kontinuierliche Spektrum des reflektierten Sonnenlichts zeigen. In der Koma finden wir gleichfalls ein mehr oder minder starkes kontinuierliches Spektrum, das aber von einem kräftigen Gas-Spektrum, den Swan-Banden des Kohlenstoffs, überlagert wird. Schließlich besteht das Schweif-Spektrum nach den wenigen Aufnahmen, die man bisher erhalten konnte, zur Hauptsache aus den Emissionen des ionisierten Kohlenmonoxyds und Stickstoffs. Es kommen aber auch kontinuierliche Schweifspektra vor. Angesichts dieser mageren Ergebnisse, die dazu alle einer kleinen Gruppe von sehr hellen, sonnennahen Kometen entstammen, erscheint es sehr gewagt, darauf ein allgemein gültiges Kometen-Modell aufzubauen. Der stark abweichende Helligkeitsverlauf der verschiedenen Kometen sowie eigenartige Wandlungen ihrer Struktur und Färbung zeigen immer wieder, daß individuelle und gesetzmäßige Erscheinungen auftreten, die bislang weder in ihren Ursachen noch in ihren Wirkungen deutlich erkannt sind.

In dieser Richtung kann nun die Photometrie der Kometen sehr wichtige Hinweise, insbesondere zuverlässige Aufschlüsse über die Helligkeitsentwicklung dieser Himmelskörper bei ihrer Annäherung an die Sonne liefern. Seltsamerweise sind derartige Helligkeitsbeobachtungen von Kometen bis in die jüngste Zeit hinein stark vernachlässigt worden. Die Aufgabe besteht darin, die Helligkeiten von Koma und Kern in irgendeinem photometrischen System, am besten im Größenklassensystem der Sterne, zu bestimmen. Leider steht die in den letzten Jahren bevorzugte objektive Methode der photographischen Photometrie in diesem Falle vor den gleichen Schwierigkeiten, wie sie sich den exakten Helligkeitsbestimmungen von Kugel-Sternhaufen und Nebelflecken entgegenstellen. Selbst die Photometrie der sternartigen Kerne ist auf photographischem Wege kaum möglich, da ihr Licht nur schwer von dem der hellen Verdichtung der Koma zu trennen ist. Solange auch die lichtelektrischen Photometer noch zu unempfindlich waren, blieb zunächst nichts anderes übrig, als die alten subjektiven Methoden der visuellen Photometrie anzuwenden. In den gebräuchlichen visuellen Photometern wird das Licht des zu messenden Sterns mit dem eines im Fernrohr erzeugten künstlichen Sterns verglichen, dessen Helligkeit meßbar verändert werden kann. Dieses Verfahren bereitet bei der Helligkeitsmessung der Kometenkerne keine Schwierigkeiten, da man den künstlichen Vergleichstern mühelos neben den Kern in die helle Verdichtung der Koma stellen kann und der Vergleich somit unter gleichen Bedingungen geschieht. Reduziert man die gemessenen Kernhelligkeiten auf einen einheitlichen Abstand von der Erde, so zeigen diese einen vom Quadrat des Sonnenabstandes abhängigen Verlauf, wie wir ihn auch bei den Planeten finden. Es handelt sich also beim Licht der Kometenkerne um das von festen Körpern reflektierte Sonnenlicht. Im Vergleich zur Gesamtintensität des Kopfes ist aber das Licht der Kerne innerhalb des Bereichs, in dem wir die Kometen beobachten, d.h. innerhalb eines Sonnen-Abstands von 4 astron. Einheiten (die astron. Einheit ist der mittlere Abstand der Erde von der Sonne), so gering, daß es mit etwa 1 bis 4% bei der Bestimmung der Gesamthelligkeit vernachlässigt werden kann.

Um nun diese Gesamthelligkeit des Kopfes, die im wesentlichen das Licht des Kometen darstellt, im Größenklassensystem der Sterne zu bestimmen, ist es erforderlich, die Intensität eines flächenhaften Nebels mit derjenigen eines punktförmigen Sterns zu vergleichen. Die wenigen Beobachter, die sich an diese Aufgabe herangewagt haben, halfen sich mit einer extrafokalen Betrachtung der Objekte. Sie brachten zu diesem Zweck das Okular des Fernrohrs aus der Scharfeinstellung, so daß die punktförmigen Sterne in matte, diffuse Lichtscheiben verwandelt wurden, die sich mit den Kometen vergleichen ließen. Das Licht der gleichhellen Nachbarsterne wurde dann photometrisch gemessen und durch Anschluß an polnahe Sterne bekannter Helligkeit in das internationale Größenklassensystem gebracht. Nach einem vom Verfasser modifizierten Verfahren, das einige gefährliche Fehlerquellen der geschilderten Methode stark einengt, wurden zwischen 1932 und 1950 von 44 Kometen zum Teil recht ausgedehnte Beobachtungsreihen erhalten. Da in dem genannten Zeitabschnitt weder photographische noch lichtelektrische Messungen von Kometenhelligkeiten veröffentlicht wurden, ließ sich zunächst nicht feststellen, wie weit die hier erhaltenen Ergebnisse im einzelnen oder systematisch von den wirklichen Helligkeiten abwichen. Aus diesem Grunde wurden in den Jahren 1942 bis 1944 in gleicher Weise Helligkeitsschätzungen von 70 Kugel-Sternhaufen und Nebelflecken mit den verschiedensten Instrumenten, vom bloßen Auge bis zum 10 cm-Refraktor unter allen vorkommenden Beobachtungsbedingungen vorgenommen. Zunächst lieferten die Einzelbeobachtungen dieser im Gegensatz zu den Kometen unveränderlichen Objekte ein vortreffliches Material zur Untersuchung der durch die wechselnden atmosphärischen Bedingungen, durch Mondschein, Dämmerung oder Nordlicht hervorgerufenen systematischen Fehler, die jedoch in allen Fällen innerhalb so enger Grenzen blieben, daß sie praktisch vernachlässigt werden dürfen. Ein Vergleich der hier geschätzten Helligkeiten der Kugelhaufen und Nebel mit den in den letzten Jahren auf dem Mount Wilson erhaltenen photovisuellen Messungen ergibt eine so gute Übereinstimmung, daß auch die hier erhaltenen Kometenhelligkeiten ein gewisses Vertrauen verdienen.

Die Helligkeitsentwicklung der Kometen ist innerhalb des der Beobachtung zugänglichen Raums im allgemeinen so eng mit dem Sonnenabstand verknüpft,

daß sie sich durch das einfache Gesetz $J' = \frac{J_0}{r^n}$ darstellen läßt, wobei J' die beobachtete Intensität und J_0 die Intensität im Sonnenabstande $r = 1$ astron. Einheit bedeuten. Der Exponent n des Sonnenabstandes r bestimmt dabei den Grad der Heftigkeit, mit der der Komet auf die Menge der einfallenden Sonnenstrahlung reagiert. Bringen wir den Ausdruck in das astronomische Größenklassensystem und berücksichtigen wir dabei gleichzeitig den Abstand Δ des Kometen von der Erde, der auch in astronomischen Einheiten gegeben wird, so erhalten wir die einfache Beziehung $m' = H_0 + 2{,}5\, n \log r + 5 \log \Delta$. In diesem Ausdruck bedeutet m' die jeweils beobachtete Gesamthelligkeit in Sterngrößen. Die zugehörigen Abstände r und Δ sind aus der Bahnrechnung bekannt. Da jede Beobachtung eine derartige Bedingungsgleichung liefert, lassen sich die beiden Unbekannten H_0 und n aus einer Reihe von Gleichungen mit möglichst verschiedenen Werten von r ableiten.

H_0 ist die Normalhelligkeit des Kometen in den Abständen r und $\Delta = 1$, und n dürfte als Maß der Reaktionsfähigkeit eine der wichtigsten Charaktereigenschaften eines Kometen darstellen.

Die so bestimmten Werte für H_0 sind sehr verschieden und liegen zwischen 2^m und 12^m. Sie erstrecken sich somit über 10 Größenklassen, was einem Intensitätsunterschied von 10000:1 entspricht. Die Werte für n liegen zwischen 2 und 6, vorwiegend um 4. Sie zeigen uns, daß bei der Annäherung eines Kometen an die Sonne das Licht der Koma sehr viel rascher anwächst als die Helligkeit der Kerne.

Da die ersten Beobachtungsreihen bereits den Verdacht von Beziehungen zwischen der Helligkeitsentwicklung und einzelnen äußeren Eigentümlichkeiten der Kometen erweckten, erschien es wichtig, die photometrischen Parameter H_0 und n für möglichst viele Kometen abzuleiten und damit die Grundlagen für eine Statistik zu erhalten. Die ersten Untersuchungen, die J. H. OORT und M. SCHMIDT [2] im vorigen Jahre mit dem zur Zeit vorhandenen Material durchgeführt haben, lassen bereits deutlich eine straffe Korrelation zwischen der Reaktionsfähigkeit der Kometen und den großen Achsen ihrer Bahnen erkennen. Auf diesem Wege sind in naher Zukunft sicherlich sehr wichtige Beiträge für die Kosmogonie der Kometen, ihr Werden und Vergehen, zu erwarten.

Aber nicht in allen Fällen verläuft die Helligkeitsentwicklung in der dargestellten glatten Form. Manchmal findet die größte Helligkeit mehrere Wochen vor oder nach der größten Annäherung an die Sonne statt. Ganz vereinzelt sind auch Helligkeitsausbrüche oder Explosionen beobachtet worden, die zu einem völligen Verlöschen, zu Spaltungen oder zur Auflösung der Himmelskörper führten. Während derartige Lichtausbrüche nur äußerst selten vorkommen, treten kleinere Helligkeitsschwankungen bis zu etwa einer Größenklasse recht häufig auf. Schon vor 125 Jahren sprach CAPOCCI [3] in Neapel den Verdacht eines Zusammenhanges der Helligkeitsschwankungen mit Vorgängen auf der Sonnenoberfläche aus. Zwischen 1818 und 1826 waren von ihm 10 Fälle beobachtet worden, in denen Helligkeitssteigerungen von Kometen mit dem Auftreten von größeren Sonnenflecken zusammenfielen. Nachdem die Sonne als die allein in Betracht kommende Energiequelle für das Leuchten der Kometen erkannt war, lag es nahe, die Helligkeitsschwankungen dieser Objekte auf Änderungen in der Intensität oder Zusammensetzung der Sonnenstrahlung zurückzuführen. Eine im Jahre 1911 von J. BOSLER [4] durchgeführte kritische Untersuchung aller bis dahin bekannten Lichtausbrüche verlief in Ermangelung geeigneter Beobachtungen ergebnislos. Erst in jüngster Zeit ist diese Frage von P. BERNARD [5] in Paris und N. RICHTER [6] auf der Sternwarte Berlin-Babelsberg erneut aufgegriffen. Beide Beobachter benutzten ausschließlich die sehr unsicheren gelegentlichen Helligkeitsangaben der Himmelsphotographen. Während RICHTER die von ihm untersuchten Helligkeitsausbrüche zweier Kometen auf Ultraviolettausbrüche der Sonne infolge von Eruptionen zurückführt, glaubt BERNARD die Korpuskularstrahlung der Sonne verantwortlich machen zu dürfen. Die Diskrepanz dieser Ergebnisse, insbesondere aber das Fehlen eines Beweises für die behaupteten Beziehungen zwischen den Helligkeitsschwankungen und der Sonnentätigkeit, gaben die Veranlassung, die hier erhaltenen und zum Teil bereits veröffentlichten Beobachtungen daraufhin zu untersuchen.

Errechnet man mit Hilfe der abgeleiteten photometrischen Parameter H_0 und n die jeweiligen Helligkeiten, so bleiben zwischen den beobachteten und gerechneten Werten Differenzen übrig, die sich aus den zufälligen Beobachtungsfehlern und den kurzen sekundären Schwankungen der Helligkeit zusammensetzen. Da die zufälligen Beobachtungsfehler infolge der Unsicherheit des Vergleiches von flächenhaften Objekten mit punktförmigen Sternen sowie infolge des ständigen Wechsels der Vergleichsterne und der Fehler bei den Polanschlüssen leicht auf etwa 3 Zehntel einer Größenklasse anwachsen können, erschien es zunächst fraglich, ob diese Ungenauigkeiten die geringen sekundären Helligkeitsschwankungen nicht ganz verdecken würden. Zur Prüfung dieser Frage wurden die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung für jede Beobachtungsreihe gemittelt und diese Mittelwerte den mittleren Schwankungen der Sonnenfleckenrelativzahlen des gleichen Zeitabschnitts gegenübergestellt.

Vielleicht darf an dieser Stelle der Begriff der Sonnenfleckenrelativzahl ganz kurz erläutert werden. Die Sonnenflecke treten nur in einem verhältnismäßig schmalen, äquatorial gelegenen Gürtel der Sonne auf. Dabei schließen sie sich zu Gruppen zusammen. Nach einem Vorschlage des Züricher Sonnenforschers R. WOLF [7] läßt sich die jeweilige Sonnentätigkeit zahlenmäßig am besten so darstellen, daß man jede Gruppe als solche mit der Zahl 10 bewertet und die Zahl der Einzelflecken hinzuzählt. Die Gesamtsumme dieser Zahlen wird als die Sonnenfleckenrelativzahl des betreffenden Tages bezeichnet. Wir sehen, daß diese Zahlen nur eine sehr formale Bedeutung haben. Die Erfahrungen haben aber gelehrt, daß sie in ihrer Gesamtheit den Verlauf der Sonnenaktivität gut widerspiegeln, obgleich die eigentlichen Störungsherde nicht in den Sonnenflecken, sondern in den vorwiegend in ihrer Nachbarschaft auftretenden Eruptionen zu suchen sind.

Tragen wir die mittleren täglichen Schwankungen der Relativzahlen als Abszisse und die mittleren

Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung, also die Summe aus den mittleren Helligkeitsschwankungen und Beobachtungsfehlern, als Ordinate auf, so erhalten wir das in Fig. 2 wiedergegebene Diagramm. Ein ähnliches Bild erhalten wir, wenn

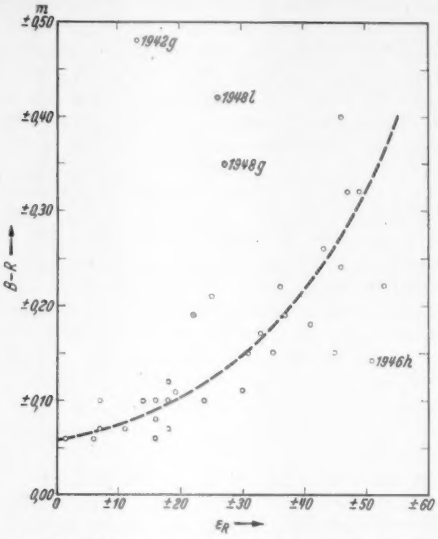


Fig. 2. Abhängigkeit der aus 34 Beobachtungsreihen bestimmten mittleren Abweichungen zwischen den beobachteten und gerechneten Gesamthelligkeiten (B—R) von den für die jeweiligen Zeitabschnitte gültigen mittleren Schwankungen der Züricher Relativzahlen (ε_R).

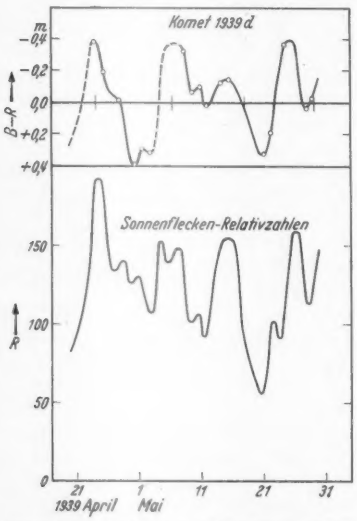


Fig. 3. Korrelation zwischen den sekundären Helligkeitsschwankungen des Kometen Jurlof-Achmorof-Hassel (1939d) und den auf seinen heliozentrischen Ort bezogenen Sonnenflecken-Relativzahlen R.

statt der Schwankungen der Relativzahlen die gemittelten Relativzahlen selber eingetragen werden. Das Diagramm zeigt in aller Deutlichkeit, daß die Kometen zu den Zeiten geringer Sonnentätigkeit viel ruhiger leuchten als während der Fleckenmaxima. Als zweites liefert es uns gleichzeitig einen zuverlässigen Wert für die Genauigkeit unserer Helligkeitsschätzungen. Wir finden im Minimum für $R = 0$ ein mittleres $B - R$ von $\pm 0^m,06$, also einen Wert, der erheblich kleiner ist, als ursprünglich angenommen war. Die ohne jede Auswahl oder Korrekturen den Züricher Sonnenbeobachtungen [8] bzw. den Veröffentlichungen des Verfassers [9] entnommenen Zahlen liefern in der wiedergegebenen Statistik zunächst nur den Beweis für das Bestehen von Beziehungen zwischen der Sonnentätigkeit und den sekundären Helligkeitsschwankungen der Kometen. Über die Art dieser Beziehungen sagt die Statistik außer allgemeinen Hinweisen über die mittleren Schwankungsamplituden noch nichts aus.

Um auch darüber nähere Aufschlüsse zu gewinnen, ist es erforderlich, den Verlauf der Helligkeitsänderungen im einzelnen mit den jeweiligen Schwankungen der Relativzahlen zu vergleichen. Selbstverständlich ist dabei zu berücksichtigen, daß die Kometen während der Beobachtung gewöhnlich in ganz anderen Gegenden des Weltenraums oder, astronomisch gesprochen, in ganz anderen heliozentrischen Längen und Breiten stehen als die Erde. Da sie sich somit auch einem ganz anderen Teil der Sonnenoberfläche gegenüber befinden, ist es erforderlich, die jeweils für sie gültigen Relativzahlen besonders zu errechnen. Bei dieser Gelegenheit wurde, abweichend von der Züricher Gepflogenheit, den am Sonnenrande stehenden Fleckengruppen ein geringeres Gewicht erteilt.

Vergleicht man nun die Kurven der Helligkeitsschwankungen der Kometen mit den entsprechenden Darstellungen der zugehörigen Relativzahlen, so zeigt sich, daß fast alle stärkeren Anstiege der Relativzahlen in ähnlicher Form auch in den Helligkeitsschwankungen auftreten. Besonders intensive Störungen auf der Sonnenoberfläche haben danach Aufhellungen der Kometen zur Folge (s. Beispiel in Fig. 3). Angesichts des sehr formalen Charakters der Relativzahlen ist es geradezu überraschend, daß diese sich stellenweise so treu in den Helligkeitsschwankungen widerspiegeln. Besonders aufschlußreich sind die Ergebnisse, wenn mehrere Kometen gleichzeitig an verschiedenen Stellen des Himmels zur Beobachtung kommen. In diesem Falle zeigen die an sich ähnlichen Helligkeitskurven wegen der heliozentrischen Längendifferenzen Phasenverschiebungen von zuweilen mehreren Tagen, die aber fortfallen, sobald eine Reduktion auf den gleichen Zentralmeridian der Sonne erfolgt.

Gelegentlich treten auch zunächst unerklärliche Abweichungen auf. So zeigten zwei gleichzeitig beobachtete Kometen kurz nacheinander einen erheblichen Helligkeitsausbruch, der auf den gleichen Tätigkeitsherd auf der Sonne hinwies, dort aber nicht zu finden war. Erst eine Sonnenrotation später befand sich an der fraglichen Stelle eine große Fleckengruppe, die 3 Wochen vorher zwar noch nicht sichtbar, aber wohl schon in Entwicklung begriffen war.

Sobald die Kometen in hohe heliozentrische Breiten emporsteigen, nehmen die Helligkeitsschwankungen ab. In Breiten von 50 bis 60° sind diese schon so gering und in ihrer zeitlichen Folge so verwaschen, daß ein Vergleich mit den in solchen Fällen schwer bestimmbaren und stets sehr kleinen Relativzahlen sinnlos wird.

Auf eine besonders interessante Erscheinung führte die Untersuchung von zwei Kometen, die sich nahezu über den Sonnenpol hinweg bewegten. Beide Objekte zeigten in hohen heliozentrischen Breiten neben der

erwarteten Verringerung ihrer Helligkeitsschwankungen eine deutliche Abnahme ihrer mittleren Helligkeit, die zur Zeit des höchsten Breitenstandes ein Minimum durchlief und beim Abstieg in niedrigere Breiten wieder in ihre alte Höhe zurückkehrte. Diese Feststellung einer Abhängigkeit der Helligkeit von der heliozentrischen Breite lieferte den Schlüssel zur Untersuchung von 3 Beobachtungsreihen, die wegen ihres anscheinend unregelmäßigen Verlaufs zunächst ausgeschlossen worden waren. Es handelt sich um die bereits erwähnten Fälle, in denen die größte Helligkeit viele Wochen vor oder nach der größten Sonnennähe eintrat. Schreibt man diesen Kometen eine große Breitenempfindlichkeit zu, so ist ihr Verhalten mit einem Schlage erklärt. Das merkwürdigste Beispiel dieser Art bot der Komet Mrkos (1948a), der bei gleichem Erdabstand 60 Tage vor der größten Sonnennähe etwa 3 Größenklassen heller war als 60 Tage nach dem Perihel. Man hätte gleiche Helligkeit erwarten sollen. Innerhalb dieser Zeit war aber der Komet aus einer heliozentrischen Breite von 20 auf 78° emporgestiegen. Mit dem Wiederabstieg in niedrigere Breiten setzte wieder ein rascher Helligkeitsanstieg ein, dessen Beginn hier noch visuell verfolgt werden konnte, und dessen weitere Entwicklung die Himmelsphotographen der Südhalbkugel unserer Erde in Erstaunen versetzte.

Unter den insgesamt verfügbaren 44 Beobachtungsreihen befinden sich nur 5, in denen die Helligkeitsschwankungen nur zeitweilig korreliert sind, im übrigen aber große Abweichungen vorkommen. Merkwürdigerweise handelt es sich hier um Kometen mit auffallend großen Normalhelligkeiten H_0 zwischen 3^m und 5^m, die sich alle durch eine zeitweilig recht lebhafte Schweifentwicklung auszeichneten. Es ist wohl anzunehmen, daß die in Verbindung mit der Schweifentwicklung beobachteten starken Veränderungen von Koma und Kern einen individuellen Verlauf nehmen, der die normalen Helligkeitsschwankungen überlagert und das Bild zeitweilig entstellt.

Nachdem nun das Bestehen einer Korrelation zwischen der Kometenhelligkeit und der Sonnenaktivität erwiesen sein dürfte, bleibt noch die Frage, wie weit die zeitliche Übereinstimmung der Erscheinungen festzulegen ist. Wir wissen, daß die Nordlichter gewöhnlich mit einer Verspätung von etwa $1^1/_2$ bis $2^1/_2$ Tagen nach dem Vorübergang von großen Fleckengruppen auftreten, was auf eine entsprechende Laufzeit der dafür in Betracht kommenden Korpuskularstrahlung hinweist. Bei den Kometen, die zum Teil in Abständen von mehreren astronomischen Einheiten beobachtet sind, müßten unter ähnlichen Voraussetzungen viel größere Zeitunterschiede von mehreren Tagen bis zu einer Woche auftreten. Eine Untersuchung von zahlreichen besonders gut bestimmbaren Helligkeitsmaxima und Minima läßt auch bei den sonnenfernsten Kometen innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit von etwa einem Tag keine Zeitunterschiede erkennen, so daß die gerichtete Korpuskularstrahlung von nur geringem Einfluß sein kann. Da auch die Schwankungsamplituden mit wechselndem Sonnenabstand nahezu konstant bleiben, dürfte es sich in unserem Falle im wesentlichen um Wellenstrahlung handeln. Die naheliegende und von RICHTER ausgesprochene Vermutung, daß die Lichtanstiege auf Ultraviolettausbrüche der Sonne zurückzuführen seien, steht jedoch im Widerspruch zu unseren gegenwärtigen Anschauungen über die Vorgänge in den Kometen. Nach den theoretischen Untersuchungen von K. WURM [*10*] verursacht die Sonnenstrahlung im Kometengas eine Fluoreszenz, mit anderen Worten, ein Resonanzleuchten. Die Gasmolekeln können jedoch im Strahlungsfeld der Sonne nur eine begrenzte Zeit existieren. Sie werden sehr bald ionisiert oder dissoziiert. Bei erhöhter Ultraviolett-Strahlung wäre demnach ein beschleunigter Zerfall der Molekeln in ihre Atombestandteile und damit eine Helligkeitsabnahme zu erwarten. Dieser Widerspruch ist zunächst schwer zu erklären. Vielleicht erinnern wir uns aber daran, daß es gerade die hellsten und größten der hier beobachteten Kometen waren, die abweichende Ergebnisse und eine unbefriedigende Korrelation lieferten. Von noch helleren Objekten stammen aber die wenigen Spektra von Koma und Schweif, die uns heute zur Verfügung stehen. Über die spektrale Beschaffenheit der sonnenfernen und kleineren Kometen, die hier vorwiegend beobachtet wurden, ist dagegen fast nichts bekannt. Es ist jedoch sicher, daß in großer Sonnennähe stets größere, mit Helligkeitsschwankungen verbundene Veränderungen auftreten, die nach neueren Untersuchungen von L. BIERMANN [*11*] auf den Einfluß der stark wechselnden Korpuskularstrahlung zurückzuführen sind. Der Nachweis eines verstärkten Einfalles dieser Strahlung dürfte jedoch auch bei sonnennahen Kometen nur in Ausnahmefällen möglich sein. Auf unserer Erde verrät sich der Einfall von stärkeren Korpuskularströmen durch Störungen des Magnetfeldes, die in den sog. erdmagnetischen Kennziffern ihren Maßstab finden. Diese rasch wechselnden Werte lassen sich jedoch nicht ohne weiteres auf den Standort der Kometen übertragen.

Leider dürfte es noch für längere Zeit schwierig sein, Spaltspektrogramme von schwachen Kometen zu erhalten. Solange diese Möglichkeit nicht besteht, könnte man aber mit kurzbrennweitigen, lichtstarken Instrumenten Filteraufnahmen innerhalb verschiedener sinnvoll ausgewählter Spektralgrenzen herstellen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß derartige Aufnahmen Beziehungen zwischen den relativen Intensitäten der verschiedenen Molekel-Emissionen und dem Sonnenabstand erkennen lassen und damit weitere wichtige Aufschlüsse über den jeweiligen Zustand der Kometen liefern.

Literatur.

[*1*] OORT, J. H.: Bull. Astr. Netherlands **11**, Nr. 408 (1950). — [*2*] OORT, J. H., u. M. SCHMIDT: Bull. Astr. Netherlands **11**, Nr. 419 (1951). — [*3*] CAPOCCI: Astr. Nachr. **5** (1826). — [*4*] BOSLER, J.: Ann. Obs. Astr. Phys. Paris. **5**, H. 1 (1911). — [*5*] BERNARD, P.: C. R. Acad. Sci., Paris **224** (1947). — [*6*] RICHTER, N.: Astr. Nachr. **269** (1939); **271** (1941); **277** (1948). — [*7*] WOLF, R.: Vjschr. naturforsch. Ges. Zürich **1856**. — [*8*] BRUNNER, W., u. M. WALDMEIER: Astr. Mitt. Eidgen. Sternw. Zürich **1932—1950**, Nr. 130—145 (W. BRUNNER) u. Nr. 146—172 (M. WALDMEIER). — [*9*] BEYER, M.: Astr. Nachr. **250—279** (1933—1950). — [*10*] WURM, K.: Vjschr. Astr. Ges. **78** (1943). — [*11*] BIERMANN, L.: Z. Astrophysik **1951**.

Hamburger Sternwarte in Bergedorf.

Eingegangen am 4. Juli 1951.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.

Verhalten der Elektronen kristallischer Isolatoren in hohen elektrischen Feldern.

Die derzeitige Theorie des rein elektrischen Durchschlags von Kristallen beschränkt sich darauf, mittels eines plausiblen Kriteriums den Wert der Durchschlagsfeldstärke abzuschätzen. Die Stoßionisationstheorie[1]) bestimmt die Gleichgewichtsfeldstärke $F = G(E)$, welche gerade einem Leitungselektron der Energie E den Energieverlust durch die Gitterstöße ersetzt. G besitzt (s. Fig. 1) ein Maximum in der Gegend einiger Volt infolge der akustischen Gitterschwingungen (von dem Maximum der optischen Schwingungen unter $^1/_{10}$ V sehen wir ab).

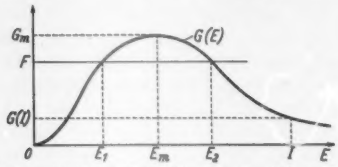


Fig. 1. Gleichgewichtsfeldstärke $G(E)$ als Funktion der Energie E eines Leitungselektrons (schematisch).

Nach dem v. HIPPELschen "low energy criterion" ist der Maximalwert G_m die Durchschlagsfeldstärke, nach dem FRÖHLICHschen[2]) "high energy criterion" dagegen $G(I)$, wo I = Ionisierungsenergie. — Nach dem Kriterium der Feldemissionstheorie[3]) tritt Durchschlag ein, sobald die proportional zu dem ZENERschen[4]) Durchlaßfaktor [erster Exponentialfaktor von Gl. (4)] angenommene Zahl der Leitungselektronen Ströme von etwa 1 Amp/cm² ermöglicht.

Um diese unsicheren Kriterien durch eine zuverlässige Theorie zu ersetzen und außer der Feldstärke auch die Stromstärke vor dem Durchschlag zu berechnen, muß man die Verteilungsfunktion $\chi(E)$ der Leitungselektronen auf die verschiedenen Energien E ermitteln. Dies gelingt in guter Näherung mittels der Differenzengleichung

$$\left.\begin{aligned} & w_e \chi(E+\varepsilon) + w_a \chi(E-\varepsilon) - w\,\chi(E) - \\ & - \varepsilon (w_e - w_a) \frac{F^2}{G^2} \sqrt{E}\, \frac{d\,(\chi/\sqrt{E})}{dE} + \\ & + \frac{\varepsilon w_s}{2} \cdot \frac{F^2}{H^2} \sqrt{E}\, \frac{d}{dE}\, \varepsilon\, \frac{d\,(\chi/\sqrt{E})}{dE} = 0 . \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Diese berücksichtigt außer der Energiezufuhr durch das Feld (vorletztes Glied) und dessen nivellierender Wirkung (letztes Glied) die zeitlichen Wahrscheinlichkeiten für einen Gitterstoß w_s (durch Emission oder Absorption eines Quants,

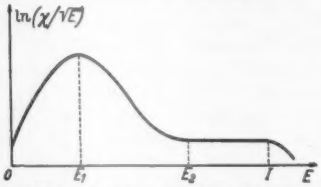


Fig. 2. Verteilungsfunktion $\chi(E)$ der Leitungselektronen (schematisch).

$w_s = w_e + w_a$), für Stoßionisation w_i und für Rekombination ins Valenzband w_r[5]) ($w = w_s + w_i + w_r$). ε ist die mittlere Energie der stoßenden Gitterquanten, $H(E)$ eine charakteristische Feldstärke von ähnlichem Verlauf wie G, jedoch erheblich kleiner. Gl. (1) löst man nach Überführung in eine reine Differenzengleichung mit großer Genauigkeit durch

$$\left.\begin{aligned} & \chi \sim \sqrt{E} \cdot \exp\left(-\int_{E_1}^{H} \frac{dE}{\varepsilon} \ln H\right); \\ & H = \frac{w_i + w_s(1+F^2/H^2) + \sqrt{w_i^2 + 2 w_i w_s (1+F^2/H^2) + (w_e - w_a)^2 (1 - F^2/G^2)^2}}{2 w_e + (w_e - w_a) F^2/G^2 + w_s F^2/H^2} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

(Wurzel ≤ 0 für $E \leq E_1$, ≥ 0 für $E \geq E_1$). χ hat (s. Fig. 2) bei E_1 ein Maximum, dessen Abfall einer abgeflachten MAXWELL-Verteilung entspricht $\left(\sim \exp\left(-\int_{E_1}^{E} \frac{dE}{kT} \cdot \frac{1 - F^2/G^2}{1 + F^2/H^2}\right)\right.$; Nenner $1 + F^2/H^2$ bereits bei FRÖHLICH, l. c.). Für $E \geq E_2$ wird $\chi/\sqrt{E}$ (angenähert) konstant, jenseits I nimmt es erneut exponentiell ab. — Der unbestimmte Faktor in (2) wird dadurch festgelegt, daß stationär ebenso viele Leitungselektronen rekombinieren müssen, wie neu entstehen, d. h.

$$\int_0^\infty (w_i - w_r)\, \chi\, dE + W = 0 . \quad (3)$$

W ist die Anzahl Leitungselektronen, welche je Zeit durch innere Feldemission oder thermisch (bzw. durch Bestrahlung) neu erzeugt werden:

$$\left.\begin{aligned} W_F &= \frac{a e F}{h} \cdot \exp\left(-\frac{I^2}{eF} \cdot \frac{m a}{4 \hbar^2}\right); \\ W_{+h} &= \frac{4 w_r^0(0)}{\nu^2} \cdot \left(\frac{2\pi m a^2 k T}{h^2}\right)^3 \exp\left(-\frac{I}{kT}\right). \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

(a = Gitterkonstante, m = Elektronenmasse, ν = Anzahl Valenzelektronen je a^3, w_r^0 = Rekombinationswahrscheinlichkeit bei entleertem Valenzband). Die Wahrscheinlichkeit der Rekombination ist proportional zur Anzahl der leeren Plätze im Valenzband:

$$w_r = n \cdot w_r^0 \quad \text{mit} \quad n = \int_0^\infty \chi\, dE . \quad (5)$$

χ soll so normiert sein, daß $n = 1$ ist, wenn alle Valenzelektronen im Leitungsband sind. — Aus (2) bis (5) ergibt sich folgende Näherungsgleichung für n:

$$\left.\begin{aligned} & n^2 w_r^0(E_1) - \\ & - n (w_e - w_a)_I (F^2/G_I^2 - 1)\, \varepsilon_I \sqrt{\frac{2}{\pi E_m k T (1 + F^2/H_1^2)}} \times \\ & \times \exp\left(-\frac{2}{3} \cdot \frac{1 - F^2/G_m^2}{1 + F^2/H_m^2} \cdot \frac{E_2 - E_1}{kT}\right) - W = 0 . \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

($\varepsilon_I = \varepsilon(I)$, $H_1 = H(E_1)$ usw.). Die Stromdichte errechnet sich zu $j = (b_1 \nu / a^3) F n$ (b_1 = Beweglichkeit der Elektronen der Energie E_1). Für kleine Feldstärken bestimmt sich n aus W_{th} (neben dem Einfluß einer Bestrahlung); dies führt zu OHMscher Leitfähigkeit. Die Stromstärke wächst jedoch in nicht-OHMscher Weise rapid an, sobald sich F dem Wert G_m nähert (Lawinenbildung) oder W_F beträchtlich wird (Feldemission). Durchschlag tritt bei einer kritischen Stromleistung von der Größenordnung $M\,W/\text{cm}^3$ ein. Für den *Durchschlag infolge Stoßionisation* resultiert die Bedingung

$$(1 - F^2/G_m^2)(E_2 - E_1) \approx 60 k T (1 + F^2/H_m^2). \quad (7)$$

Die Feldstärke wird etwa $^1/_4\, G_m$ (in Übereinstimmung mit der Abschätzung $^1/_5\, G_m$ von SEITZ, l. c.), wenn man mit den akustischen Gitterschwingungen rechnet. Für die optischen Schwingungen ergibt sich weniger als $^1/_{30}\, G_m$, so daß diese für Stromstärke und Durchschlag von untergeordneter Bedeutung sein dürften. Die Feldstärke $G(I)$ des „high energy criterion" ist weder eine obere noch eine untere Grenze für den Durchschlag (falls sie unterschritten wird, sind die Formeln jedoch zu modifizieren). — *Durchschlag infolge Feldemission* tritt ein bei der Feldstärke

$$F \approx \frac{m a I^2}{240 e \hbar^2} . \quad (8)$$

Dieser Wert ist genau halb so groß, wie der früher abgeleitete, da gemäß Gl. (6) n proportional zur *Wurzel* des ZENERschen Faktors ist.

Die im vorstehenden entwickelte neue Grundlegung der Durchschlagstheorie führt, wie man sieht, zu erheblichen Korrekturen an den bisher berechneten Durchschlagsfeldstärken. Eine ausführliche Darstellung wird an anderer Stelle erscheinen.

Münster i. Westf., Universität. WALTER FRANZ.

Eingegangen am 1. November 1951.

[1]) Bezüglich der Nomenklatur siehe den Bericht W. FRANZ, Z. angew. Phys. **3**, 72 (1951).

[2]) FRÖHLICH, H.: Proc. Roy. Soc. [London] Ser. A **160**, 230 (1937).

[3]) FRANZ, W.: Z. Physik **113**, 607 (1939), Gl. (26), (27).

[4]) ZENER, CL.: Proc. Roy. Soc. [London] Ser. A **145**, 523 (1934).

[5]) Bisherige Ansätze zur Berechnung der Verteilungsfunktion von F. SEITZ [Physiologic. Rev. **76**, 1376 (1949)] und besonders H. FRÖHLICH [Proc. Roy. Soc. [London] Ser. A **188**, 532 (1947)] führten nicht zu einer vollständigen Durchschlagstheorie, da nicht alle diese Prozesse in Rechnung gesetzt wurden.

Elektronenmikroskopie für den Metalleinkristall.

Bei der elektronenmikroskopischen Abbildung einer polykristallinen Probe werden die Eigentümlichkeiten der Struktur der Oberfläche nur teilweise erfaßt, weil das Gesichtsfeld des Mikroskops sehr klein ist. Das wird anders, wenn man als Probe einen Einkristall verwendet, dessen Orientierung man bestimmen kann. In der Tat sind die Eigenheiten, z. B. die Formen der Ätzungshügelchen und -grübchen der Oberfläche eines Metalleinkristalles voneinander nicht so verschieden wie

Fig. 1. Vergrößerung der sich auf der geätzten Oberfläche bildenden Oxydhaut. Hier sieht man die Oktaeder-Ebenen des kubischen Kristalls.

Fig. 2.

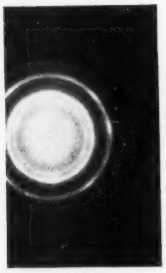


Fig. 3.

Fig. 2. Elektronenbeugung an der geätzten Oberfläche von Permalloy. Die (111)-Ebene des Einkristalls ist zu der makroskopischen Oberfläche des Probestücks parallel.

Fig. 3. Das orientierte Beugungsbild, das die durch die Oxydhaut (Fig. 1) durchgehenden Strahlen ergeben.

bei den vielkörnigen Metallschichten, sondern sie sind über die ganze Oberfläche hin gleichartig.

In der vorliegenden Arbeit wurde die mit einer alkoholischen (etwa 10%igen) Bromlösung geätzte Oberfläche eines Einkristalls von Permalloy (Fe—Ni; Ni: 81,5%) zuerst nach der Methode der Elektronenbeugung geprüft (Fig. 2) und sodann die gleich darauf hergestellte und dann isolierte Oxydhaut[1]) als Abdruck der Oberfläche mikroskopisch vergrößert (Fig. 1). Wie aus Fig. 2 hervorgeht, war die makroskopische Oberfläche der Probe annähernd parallel zu der (111)-Ebene des flächenzentrierten kubischen Kristalls (Gitterkonstante: 3,52 Å). In Fig. 1 liegen die Oktaeder-Ebenen nebeneinander parallel, die auch zu der Oberfläche des Probestücks parallel waren. Dies bedeutet die Übereinstimmung zwischen den beiden Versuchsergebnissen nach den beiden Methoden. Auf diese Weise kann man den magnetisch nutzbaren Einkristall orientieren.

Fig. 3 ist ein Beugungsbild der in Fig. 1 abgebildeten Haut bei senkrechter Durchstrahlung. Die in Fig. 3 erkannte Textur der Beugungsringe und ihre Orientierung bedeutet, daß die die Haut der Fig. 1 aufbauenden Oxydteilchen ([Ni, Fe]O vom NaCl-Typ) regelmäßig orientiert waren. Bekannt ist schon, daß sich die Kriställchen (etwa 50 Å) des Oxyds, die sich auf der Oberfläche des Einkristalls als dünne Haut bilden, nach der kristallographischen Orientierung des Probestücks richten. Diese Tatsache beweist, daß die Form der Oxydhaut nicht nur einen genauen Abdruck der Oberfläche des Probekörpers darstellt[2]), sondern daß dieser kristallinische Abdruck für die Dunkelfeldbeleuchtung geeignet ist. Da man bei der üblichen Elektronenmikroskopie ein überlagertes Feld von Hell- und Dunkelfeld benutzt, sollten die mit einem Oxydhaut-Abdruck gewonnenen Bilder eine stärkere Auflösung zeigen als diejenigen, die mit Kollodium oder Formvar hergestellt werden und die nur aus den regellos vorliegenden Teilchen bestehen.

Den Einkristall von Permalloy, mit dem der Autor diese Arbeit durchführte, stellten Dr. R. M. Bozorth und seine Mitarbeiter (Bell Telephone Laboratory, USA.)[3]) her. Sie gaben dem Autor freundlich diese Probe. Der Autor möchte ihnen hier seine Dankbarkeit bezeigen.

Institut für Naturwissenschaften (Kagaku Kenkyu-sho) 31 Kamifujimae Komagome, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.

Shigeto Yamaguchi.

Eingegangen am 6. November 1951.

[1]) Yamaguchi, S.: J. Appl. Physics **22**, 983 (1951).
[2]) Mahl, H.: Z. techn. Physik **22**, 33 (1941). — Metallwirtsch., Metallwiss., Metalltechn. **19**, 488, 1082 (1940); **20**, 983 (1941).
[3]) Walker, J. G., H. J. Williams u. R. M. Bozorth: Rev. Sci. Instrum. **20**, 947 (1949).

Zum elektrischen Leitungsmechanismus im festen Kalziumkarbid.

Der elektrische Widerstand des festen, technischen Kalziumkarbids vermindert sich infolge thermischer Behandlung. Dieser Vorgang wird dadurch verursacht, daß bei erhöhter Wärmeschwingung das C_2^{--}-Ion an Oberflächen in atomaren Kohlenstoff übergehen kann. Als Erklärung für die Widerstandsverminderung durch thermische Behandlung war von P. V. Gel'd und Mitarbeitern[1]) [2]) die Möglichkeit einer Kristallgitterumwandlung herangezogen worden. Umfangreiche Untersuchungen zum Studium des Einflusses des Übergangs des C_2^{--}-Ions in atomaren Kohlenstoff auf andere elektrische Erscheinungen sind im Gange.

Anorganisches Laboratorium der Knapsack-Griesheim A.G., Werk Knapsack bei Köln a. Rh.

Xaver Heitzer.

Eingegangen am 29. November 1951.

[1]) Gel'd, P. V., u. A. G. Kologrejew: Žhur. Priklad. Khim. USSR **21**, 600 (1948).
[2]) Gel'd, P. V., O. A. Essin u. F. S. Maron: Žhur. Priklad. Khim. USSR **21**, 251 (1948).

Ätzversuche an Einkristallen im elektrischen Feld.

Die Ätzversuche an Einkristallen mit optisch aktiven Säuren haben uns gezeigt, daß die Milieufaktoren nicht nur den Habitus, sondern auch die *Symmetrie* der Ätzerscheinungen beeinflussen können: Morphologisch gehen bei einem solchen Angriff mit asymmetrischen Molekeln Symmetrieebenen scheinbar verloren. Wir können heute diese experimentellen Ergebnisse ohne Schwierigkeit in völliger Analogie zur Diastereomerie deuten. Es lag nahe, einmal zu versuchen, durch anders geartete Eingriffe von der Milieuseite her eine Symmetrieverminderung der Ätzphänomene zu erzwingen. So konnte etwa daran gedacht werden, durch Anlegen äußerer elektrischer oder magnetischer Felder den Ätzvorgang zu modifizieren, um damit korrelate Effekte an der Kristalloberfläche zu erzielen. Orientierende Vorversuche in dieser Richtung führten zunächst zu keinem Erfolg. Von einer ganz anderen Fragestellung ausgehend hat Choong Shin-Piaw[1]) Ätzversuche an der Quarzbasis im elektrischen Feld durchgeführt und — wie er glaubte — neuartige Ätzfiguren erhalten. Die Versuche an Quarz wurden von uns systematisch wiederholt, und zur genaueren Untersuchung der Erscheinungen wurden Versuchsbedingungen und -objekte soweit wie möglich variiert.

Die experimentelle Anordnung bestand im wesentlichen in einer Doppelätzküvette aus Trolitul. Als Elektrodenmaterial wurde Graphit verwendet. Die angelegten elektrischen Felder wurden nach den verschiedensten Methoden erzeugt (bezüglich der Einzelheiten darüber muß auf die ausführlichere Veröffentlichung an anderer Stelle verwiesen werden).

Folgende wichtigste Ergebnisse wurden gewonnen:

1. Bei Anwendung von elektrischen *Wechselfeldern* (5 bis 10 kV_{eff}/mm; 50 Hz) und gleichzeitiger Ätzung mit

Fig. 1.

Fig. 2.

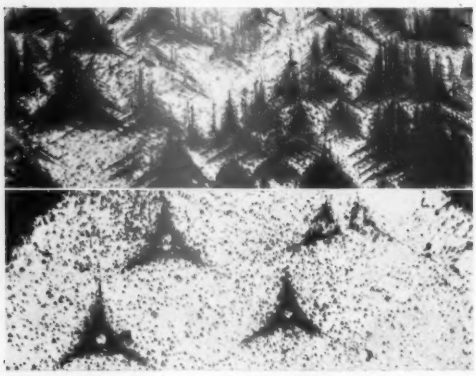


Fig. 1. Rißkomplex auf (0001) von Quarz; Wechselfeld mit Impulsen bis 15 kV/mm Scheitelwert; 40% HF; Vergr. 20mal. (Wirkung wie bei Sinusspannung gleichen Scheitelwertes).

Fig. 2. Rißfiguren auf (0001) von Quarz; Wechselspannung 500 bis 1500 Hz, 3 kV_{eff}/mm; Vergr. 50mal.

Flußsäure (40%) entstehen auf (0001) von Tiefquarz dreistrahlige Rißfiguren („Rißsterne"). Morphologisch unterscheiden sich die Rißfiguren grundsätzlich von den simultan erscheinenden Ätzfiguren, die auf (0001) bekanntlich trigonale Hügel bilden. Die drei Hauptarme der „Rißsterne" verlaufen nahezu

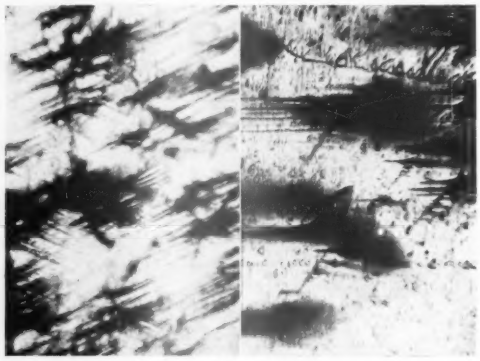


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. Rißfiguren auf $(2\bar{1}\bar{1}0)$ von Quarz; Wechselspannung 50 Hz, über 15 kV_{eff}/mm; Vergr. 125mal.

Fig. 4. Rißfiguren auf $(10\bar{1}0)$ von Quarz; Bedingungen wie Fig 3; Vergr. 125mal.

in Richtung der elektrischen X-Achsen. Besonders bemerkenswerte Resultate konnten mit Stoßspannungen erzielt werden: Es erscheinen gehäufte Rißkomplexe mit subtilen Fiederungen (Fig. 1). Bei höheren Frequenzen (500 bis 1500 Hz) und geringeren Feldstärken zeigen die gleich großen Sterne auf (0001) in der Mitte vielfach ein rißfreies Feld (vgl. Fig. 2).

2. Bei Anwendung eines homogenen *Gleichfeldes* bilden sich keine Rißfiguren. Dagegen konnte in diesem Fall ein deutlich polares Verhalten der Ätzerscheinungen festgestellt werden: Die an der positiven Elektrode liegende Fläche zeigt keine Ätzhügelbildung, sondern nur die Oberfläche am negativen Pol. Dabei treten ausschließlich die gewöhnlichen trigonalen Ätzhügel auf.

3. Grundlegend anders werden die Erscheinungen, wenn *pulsierende* Gleichspannungen angelegt werden. Unter solchen elektrischen Bedingungen treten wieder Rißfiguren auf, in erster Linie auf der dem positiven Pol zugewandten Fläche. Bemerkenswert ist, daß in diesem Fall die Rißfiguren mit Anhäufungen von großen Ätzhügeln auf der sonst glatten Fläche verknüpft sind.

4. Auf den Flächen $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}0)$ und $(2\bar{1}\bar{1}0)$ konnten symmetrisch entsprechende Rißfiguren im elektrischen Feld erzeugt werden, — allerdings erst bei Anwendung merklich höherer Feldstärken (vgl. Fig. 3 und 4).

5. Weitere Versuche wurden an den piezoelektrischen Kristallarten Zinkblende, Turmalin und Seignettesalz, ferner an den nicht-piezoelektrischen Kristallarten Kalkspat, Flußspat, Gips, Glimmer und Steinsalz durchgeführt. Bis jetzt konnten nur bei der Zinkblende Rißfiguren erzeugt werden.

Zur Diskussion der Beobachtungen sei kurz folgendes gesagt:

Ohne Zweifel handelt es sich bei den elektrischen Rißfiguren morphologisch und physikalisch-chemisch um etwas anderes als bei den eigentlichen Ätzfiguren. Trotzdem ist zur Erzeugung der Rißfiguren die Ätzung notwendig. Es wurde in diesem Zusammenhang an eine Art „Entwicklungs-Effekt" gedacht. Jedoch haben eingehende Versuche gezeigt, daß eine „Entwicklung" *nach* der Feldeinwirkung nicht wirksam wird. Die Ätzung muß offenbar gleichzeitig mit dem Feld erfolgen, wenn Rißfiguren entstehen sollen.

Auf Grund der Untersuchungen kann mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß der beobachtete Effekt mit dem Piezoeffekt gekoppelt ist. Überraschend dabei ist die Feststellung, daß eine Wirkung möglich und gerade besonders intensiv ist, wenn das Feld in Richtung der Z-Achse beim Quarz (also nicht in Richtung der piezoelektrischen Achse) angelegt wird. Nach GIEBE und SCHEIBE ist es jedoch möglich, beim Quarz Torsionsschwingungen um die optische Achse anzuregen. Es mag sein, daß unsere Beobachtungen damit in Zusammenhang zu bringen sind.

Die weiteren umfangreichen Beobachtungsergebnisse und ihre Deutung sind Gegenstand einer ausführlichen Veröffentlichung (Dissertation) an anderer Stelle.

Mineralogisch-Petrologisches Institut der Universität Bonn, Abteilung für Kristallographie.

W. KLEBER und H. O. KOCH.

Eingegangen am 26. Oktober 1951.

[1]) CHOONG SHIN-PIAW: J. Opt. Soc. America **35**, 552 (1945).

Salzartige Additionsverbindungen des Aluminiumäthylats.

Da Aluminiumäthylat $Al(OC_2H_5)_3$ mit Kaliumamid unter Bildung eines Amidosalzes reagiert $Al(OR)_3 + KNH_2 \rightarrow [(RO)_3AlNH_2]K$[1]), war zu erwarten, daß es in analoger Weise auch andere salzartige Verbindungen anlagern kann, deren Anion befähigt ist, der Oktettlücke des $Al(OR)_3$ ein Elektronenpaar zur Ausbildung einer koordinativen Covalenz zur Verfügung zu stellen. Wir untersuchten die Reaktion mit Lithium- und Natriumhydrid und fanden, daß sich NaH an $Al(OR)_3$ in ätherischer Lösung unter Zusatz geringer Mengen $Li[AlH_4]$ glatt anlagert: $Al(OR)_3 + NaH \rightarrow [(RO)_3AlH]Na$. Auch LiH reagiert zunächst ganz analog. Jedoch erfolgt gleichzeitig eine Substitution von OR durch H: $[(RO)_3AlH]Li + LiH \rightarrow [(RO)_2AlH_2]Li + LiOR$. Diese Substitutionsreaktion verläuft schließlich bis zur Bildung von $[AlH_4]Li$. Sowohl das Reaktionsprodukt des $Al(OR)_3$ mit NaH als auch dasjenige mit LiH ist farblos, kristallin, in Äther löslich und reagiert mit Wasser unter Wasserstoffentwicklung.

Bonn, Chemisches Institut der Universität, Anorganische Abteilung.

O. SCHMITZ-DUMONT und V. HABERNICKEL.

Eingegangen am 6. Dezember 1951.

[1]) SCHMITZ-DUMONT, O.: Angew. Chem. **62**, 562 (1950).

Zur Struktur der Gashydrate.

2. Mitteilung.

Vor einiger Zeit teilten wir die Struktur der „Flüssigkeitshydrate" mit[1]). Mittlerweile ist es uns gelungen, auch die Struktur der „Gashydrate im engeren Sinne", d.h. der Hydrate kleinerer Molekeln wie Cl_2, SO_2, CH_3Cl, H_2S usw. aufzuklären. Diesen Hydraten, die ebenfalls kubisch sind, die aber eine Gitterkonstante von etwa 12 Å haben, hatten wir bisher 8 Gasmolekeln und 48 Wassermolekeln im Elementarbereich zugeschrieben, entsprechend einer Formel $M \cdot 6\,H_2O$. Die nunmehr festgestellte, durch Intensitätsberechnungen gesicherte Struktur der Raumgruppe O_h^3-$Pm\,3n$ hat 46 Wasser-

molekeln mit 8 von Gasmolekeln besetzten Hohlräumen in folgenden Punktlagen:

$24\,H_2O$ I in (k)[2]: $0yz$; $z0y$; $yz0$; $\frac{1}{2}\frac{1}{2}+z\ \frac{1}{2}+y$;

$\frac{1}{2}+y\ \frac{1}{2}\frac{1}{2}+z$; $\frac{1}{2}+z\ \frac{1}{2}+y\ \frac{1}{2}$, mit $y=0{,}307$ und $z=0{,}117$.

Zu diesen 6 Orten erhält man 3mal $6=18$ weitere Orte dadurch, daß man statt $+y$ und $+z$ schreibt: $-y$ und $-z$ oder $+y$ und $-z$ oder $-y$ und $+z$.

$16\,H_2O$ II in (i):

xxx; $\bar{x}xx$; $x\bar{x}x$; $xx\bar{x}$; $\overline{xx}x$; $x\overline{xx}$; $\bar{x}x\bar{x}$; $\overline{xxx}$.

Die weiteren 8 Orte erhält man dadurch, daß man in den vorstehenden 8 Fällen alle 3 Koordinaten gleichzeitig um den Betrag $\frac{1}{2}$ vermehrt. Aus $x\bar{x}x$ entsteht so $\frac{1}{2}+x\ \frac{1}{2}-x\ \frac{1}{2}+x$ usw. Hierbei ist $x=0{,}190$. $\bar{x}$ bedeutet $-x=-0{,}190$.

$6\,H_2O$ III in (c): $\frac{1}{4}0\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}\frac{1}{4}0$; $0\frac{1}{2}\frac{1}{4}$; $\frac{3}{4}0\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}\frac{3}{4}0$; $0\frac{1}{2}\frac{3}{4}$.

6 Hohlräume I in (d): $\frac{1}{4}\frac{1}{2}0$; $0\frac{1}{4}\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}0\frac{1}{4}$; $\frac{3}{4}\frac{1}{2}0$; $0\frac{3}{4}\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}0\frac{3}{4}$.

2 Hohlräume II in (a): 000; $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$.

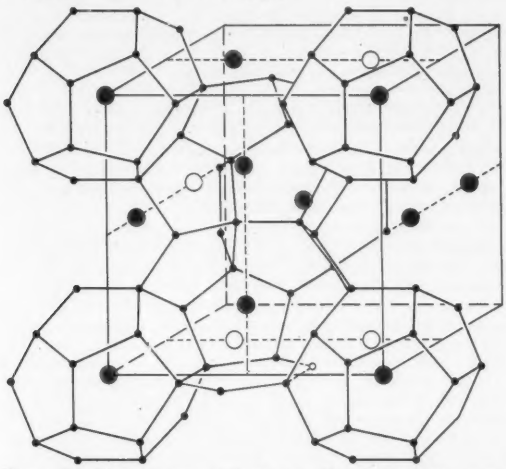


Fig. 1. Die Struktur der „Gashydrate". Um die Figur übersichtlicher zu machen, sind nur die in der vorderen Hälfte der Elementarzelle liegenden Bestandteile eingezeichnet.

Die 2 Hohlräume II sind von je 20 Wassermolekeln umgeben, die sich in den Ecken eines regulären Pentagondodekaeders befinden. Die restlichen 6 Gasmolekeln liegen in den Hohlräumen I, die von 2 Sechsecken und 12 Fünfecken umschlossen werden. Die Eckpunkte dieses Körpers werden durch 24 Wassermolekeln gebildet. Das in Fig. 1 dargestellte Gerüst der Wassermolekeln baut sich aus den oben erwähnten Pentagondodekaedern derart auf, daß die Ecken der Elementarzelle von einem solchen und der Mittelpunkt ($\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$) von einem andern, gegen das erste um 90° gedrehten Pentagondodekaeder umgeben werden. Je 2 Pentagondodekaeder sind durch zwei dazwischenliegende Wassermolekeln miteinander verbunden, die mit zwei parallelen Pentagondodekaederkanten die oben erwähnten Sechsecke bilden.

In diesem Gitter hat jede Wassermolekel 4 Wasser-Nachbarn in einer fast regulären Tetraederanordnung (Winkel von 104 bis 124°). Der Abstand zwischen 2 Wassermolekeln ist etwa 2,81 Å.

Die Ausführungen in dem Aufsatz „Feste Gashydrate"[3]) haben durch die nunmehr gelungene Strukturbestimmung eine gesicherte Grundlage erhalten: Es liegt tatsächlich eine „Hohlraumstruktur" vor. Gewisse quantitative Abweichungen treten auf. Die „Idealstruktur" entspricht jetzt nämlich der Formel $8\,M\cdot 46\,H_2O$, also $M\cdot 5\frac{3}{4}\,H_2O$, statt $M\cdot 6\,H_2O$. Meist liegt der Unterschied innerhalb der Fehlergrenzen der analytischen Methoden. Bei den Hydraten von Kr und H_2S, die zu den kleinsten hydratbildenden Molekeln gehören, ist aber in der Tat eine Zusammensetzung von etwa $M\cdot 5{,}7\,H_2O$ gefunden worden; hier sind alle Hohlräume besetzt. Beim Cl_2- und SO_2-Hydrat liefern die besten Analysen $M\cdot 6{,}0\pm 0{,}1\,H_2O$, was einer 96%igen Besetzung entspräche. Unter der Annahme einer solchen Besetzung erhält man röntgenographische Dichten von 1,32 bzw. 1,26, die mit den pyknometrischen (1,29 bzw. 1,23) in gutem Einklang stehen.

Beim Hydrat der noch etwas größeren Molekel Br_2 deuten die Röntgenreflexintensitäten darauf hin, daß nur die sechs größeren Hohlräume I besetzt sind. Das entspräche der Formel $Br_2\cdot 7\frac{3}{4}\,H_2O$ gegenüber dem analytischen Befund $Br_2\cdot 7{,}9\pm 0{,}5\,H_2O$[3]). Bei noch größeren Molekeln tritt das andere Hydratgitter mit Hohlräumen der Koordinationszahl 28 auf[1]).

Die sechs großen Hohlräume haben freie Durchmesser von 5,9 Å, die zwei kleinen von 5,2 Å (frühere Annahmen 6,6 und 5,8 Å). Auch das ist durchaus plausibel [vgl. Fig. 5 in [3])].

Die Ähnlichkeit mit der CaB_6-Struktur ist nicht mehr vorhanden.

Der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft danken wir für Unterstützung dieser Arbeit.

Institut für Physikalische Chemie der Universität Bonn.

H. R. Müller und M. v. Stackelberg.

Eingegangen am 27. Oktober 1951.

[1]) Stackelberg, M. v., u. H. R. Müller: Naturwiss. **38**, 456 (1951). Der freie Radius der Hohlräume mit der K. Z. 28 beträgt 3,4 Å (in der Veröffentlichung fälschlich 3,1 Å).

[2]) Die Buchstaben in Klammern, z. B. (k), (i), beziehen sich auf die Bezeichnung der Punktlagen in den „Internationalen Tabellen zur Kristallstrukturbestimmung". Berlin: Gebrüder Borntträger 1935.

[3]) Stackelberg, M. v.: Naturwiss. **36**, 327, 359 (1949).

Messung der Ultraschallabsorption im menschlichen Schädelknochen und ihre Abhängigkeit von der Frequenz.

In einer früheren Veröffentlichung[1]) wurden Schwächungskonstanten verschiedener tierischer Gewebe mitgeteilt, die mit einer optischen Methode[2]) ermittelt wurden. Neuere Untersuchungen[3]) über die Möglichkeit, Ultraschallwellen für diagnostische Zwecke, insbesondere für die Darstellung der zerebralen Ventrikeln, einzusetzen, führten zu entsprechenden Messungen am menschlichen Schädelknochen mit einer Impulsmethode.

Die benutzte Apparatur arbeitet mit Impulsen von 5 bis 25 µsec Dauer im Frequenzbereich von 300 kHz bis 3,5 MHz. In einem wassergefüllten Meßtrog sind 4 Meßstrecken angeordnet, von denen jede mit einem Sender-Empfängerpaar aus Bariumtitanat-Keramik bestückt ist. Die 4 Meßstrecken werden wahlweise in der jeweiligen Grundwelle (0,3, 0,56, 1,15 und 2,36 MHz) oder in verschiedenen Oberwellen betrieben. Knochenproben verschiedener Dicke werden in den Strahlengang eingebracht und die zusätzliche Dämpfung gemessen.

Die Knochenproben wurden mit einem neuartigen[4]) zylindrischen Bohrgerät gewonnen. Insgesamt wurden 35 verschiedene Proben bei 8 Frequenzen gemessen. Diese Proben wurden post mortem an verschiedenen Stellen der Schädel von 7 Autopsiefällen entnommen. Nachdem sich herausgestellt hatte, daß durch eine mechanische Bearbeitung (z. B. Dünnerschleifen) solcher frischer Proben ihre Konsistenz und damit ihr Schwächungsverhalten stark geändert wird, standen nur die natürlichen Dickenschwankungen zwischen den einzelnen Knochenproben für eine Ermittlung der Schwächung je Dickeneinheit und damit des Reflexionsverlustes zur Verfügung.

Fig. 1 zeigt als typisches Beispiel der bei solchen Messungen auftretenden Streuungen die bei der Frequenz von 1,8 MHz erhaltenen Werte. Diese Streuungen sind in erster Linie auf natürliche Variationen in der Struktur der verschiedenen Knochenproben, weiterhin auf Mangel an Planparallelität mancher Proben zurückzuführen.

Nach Ermittlung des Reflexionsverlustes aus dem Ordinatenschnittpunkt nach Fig. 1 für alle untersuchten Frequenzen wurde mit der Methode der kleinsten Quadrate die jeweilige mittlere Gerade bestimmt, deren Neigung die Schwächung in Dezibel je Zentimeter ergibt. Fig. 2 zeigt den auf diese Weise gefundenen Frequenzgang des Schwächungskoeffizienten von Schädelknochen, der starke Abweichungen von einem linearen Gesetz zeigt. Der bisher einzige in der Literatur bekannte Wert von Theismann[5]) bei 800 kHz liegt mit 27 db/cm wesentlich zu hoch. Der allgemeine Verlauf der Kurve zeigt starke Ähnlichkeit mit der von Mason[6]) gefundenen Frequenzabhängigkeit der Dämpfung in polykristallinen Metallen, was für den untersuchten Frequenzbereich auf Energieverluste durch Streuung schließen läßt. Im Unterschied zu Knochen ist die akustische Dämpfung in den weichen Körpergeweben oberhalb 100 kHz wesentlich durch ihr viskoses Verhalten bestimmt[7]).

Obgleich starke Schwankungen zwischen den Schwächungen verschiedener Knochenproben auftreten, zeigt sich, daß jede Knochenprobe für sich einem ähnlichen Frequenzgesetz gehorcht. Das ist durch die gestrichelte Kurve in Fig. 2 veranschaulicht, die den Verlauf der gesamten Schwächung eines typischen Knochenstückes von 0,69 cm Dicke wiedergibt.

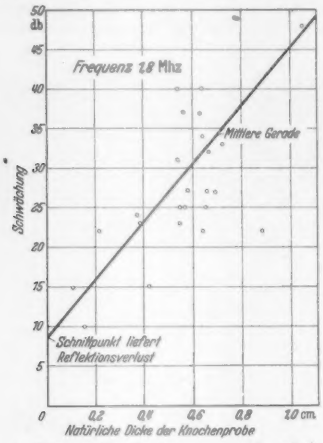


Fig. 1. Beispiel für die Auswertung der Meßpunkte.

Die gefundene Nichtlinearität der Schwächungs-Frequenzkurve ermöglicht eine Überwindung der Schwierigkeiten, die sich bei den Versuchen einer Ultraschall-Ventrikulographie hinsichtlich der Trennung von Gehirnanteil und Knochenanteil des empfängerseitigen Abtastpegels ergeben[8]). Über

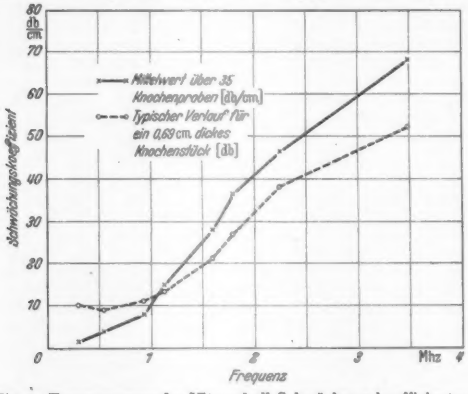


Fig. 2. Frequenzgang des Ultraschall-Schwächungskoeffizienten am menschlichen Schädelknochen.

die in dieser Richtung laufenden Arbeiten unter Verwendung von Frequenzumtastung soll später ausführlich berichtet werden.

Die Arbeit wurde durchgeführt im Acoustics Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge 39, Massachusetts/USA. im Rahmen eines vom National Institute of Health erteilten Forschungsauftrages.

Massachusetts Institute of Technology, Acoustics Laboratory, Cambridge 39, Mass.

TH. F. HÜTER.

Eingegangen am 11. Oktober 1951.

[1]) HÜTER, TH.: Naturwiss. **35**, 285 (1948).
[2]) HÜTER, TH., u. R. POHLMAN: Z. angew. Phys. **2**, 75 (1949).
[3]) DUSSIK, K. TH., u. L. WYT: Wien. med. Wschr. **1947**, 425. — BALLANTINE, T., R. BOLT, T. HÜTER u. G. LUDWIG: Science (Lancaster, Pa.) **112**, 525 (1950).
[4]) Entwickelt von A. METCALF und T. BALLANTINE am Massachusetts General Hospital, Boston USA.
[5]) THEISMANN, H., u. F. PFANDER: Strahlenther. **80**, 607 (1949).
[6]) MASON, W. P.: Piezoelectric Crystals and their Applications to Ultrasonics, S. 427. New York: D. Van Nostrand 1950.
[7]) ÖSTREICHER, H. L.: J. acoust. Soc. Amer. **23** (1951).
[8]) HÜTER, TH. F., u. R. H. BOLT: J. acoust. Soc. Amer. **23**, 160 (1951).

Lethal mutations and the bactericidal action of ionizing radiation.

Implicit in HUBERS[1]) discussion of the radiosensitivity of bacteria is the assumption that the bactericidal action of radiation is due to the induction of lethal mutations. This assumption, proposed by LEA[2]) is apparently untenable on physical and biological grounds. Cytological[3]) and genetic[4]) evidence indicates that the vegetative cells of *E. coli* are haploid and *multinucleate*. The average number of nuclei per cell is a function of the strain and the culture conditions. Under the conditions of LEAs experiments this number is probably about two. In order to inactivate a cell containing two nuclei by the induction of recessive lethal mutations it is necessary to induce such mutations in identical loci of both nuclei. The probability that this would be done by a single ionizing particle, on geometrical grounds alone, is negligible as compared with the probability that this would be accomplished by the action of two separate ionizing particles. Even if the ionization gave rise to long chains this same argument would hold. In the absence of such chains this argument is even more cogent when we note that the range of the ionizing electrons in tissue when 8·3 Å X-rays are used is less than the average internuclear distance, yet this radiation gives an exponential survival curve[2]). Clearly, if recessive lethal mutations were responsible for the X-ray inactivation of bacteria, we should expect a multihit survival curve[5]) of the form

$$S = [1 - (1 - e^{-kD})^n]^m,$$

where S is the fraction of cells surviving a dose, D, of radiation; n is the number of gene sets per cell; m is the number of genes per set; and k is the inactivation cross section per gene (assumed to be identical for all genes).

The lethal mutation theory of the bactericidal action of ionizing radiation is apparently consistent with the assumption that dominant lethal mutations are produced by the radiation. (If this is the case, then the arguments of LEA[2]) and of Huber[1]) attributing the greater radioresistance of spores, as compared with vegetative cells, to their presumed diploidy are untenable.) Such an assumption is difficult to test, but there is some indirect evidence against it. For example, it is found that cells which are inactivated by ionizing radiation may still divide one or more times[2]). In the course of these divisions the nuclei presumably segregate out. Thus only one daughter cell should contain the lethal mutation; the others should reproduce normally. The fact that all the daughter cells are inactivated is apparently incompatible, therefore, with the theory that the bactericidal action of radiation is due to the induction of dominant lethal mutations. It would seem, therefore, that LEAs interpretation of bacterial survival curves in terms of the induction of lethal mutations is untenable.

Department of Radiology, School of Medicine, University of California at Los Angeles.

AMOS NORMAN and M. A. GREENFIELD.

Eingegangen am 10. Dezember 1951.

[1]) HUBER, W.: Naturwiss. **38**, 21 (1951).
[2]) LEA, D. E., K. D. HAINES u. C. BRETACHER: Hyg. **41**, 1 (1941).
[3]) BISSETT, K. A.: The cytology and life history of bacteria. Baltimore: Williams a. Wilkins 1950.
[4]) WITKIN, E.: Rec. Gen. Soc. Amer. **20**, 131 (1951).
[5]) ATWOOD, K. C., u. A. NORMAN: Proc. Nat. Acad. Sci. **35**, 696 (1949).

Chromosomale Soma-Keimbahn-Differenzierung bei Chironomiden.

Der Chromosomenzyklus der Chironomiden *(Diptera, Nematocera)* wurde bisher als orthodox betrachtet. Nach den auf wenige Arten der U.-Fam. *Chironominae* beschränkten bisherigen Untersuchungen[1]) verläuft die Spermatogenese normal unter Chiasmabildung. Die Anzahl der Bivalente ist dieselbe wie die der Speicheldrüsenchromosomen (n = 4). Ebenso typisch ist die Spermatogenese von *Prodiamesa olivacea* (U.-Fam. *Diamesinae*?) und *Ablabesmyia monilis* (U.-Fam. *Tanypodinae*) mit n = 3; die Bivalente sind chiasmatisch; das sehr kleine 3. Paar von *A. monilis* zeigt Distanzkonjugation.

Abweichungen fanden sich in der U.-Fam. *Orthocladiinae*, von der alle bisher untersuchten acht Arten[2]) der Gattungen *Eucricotopus, Limnophyes, Metriocnemus, Psectrocladius* und

Trichocladius in den Speicheldrüsen die Haploidzahlen n = 2 oder 3, in der Keimbahn aber höhere, innerhalb der Art und des Individuums mehr oder weniger stark variierende Zahlen (bis zu n = 23) aufwiesen. In den Spermatozyten werden Bivalente gebildet, die normal reduziert werden. Meistens erfolgt die Paarung unter Chiasmabildung; in einem Fall fand sich der atypische Paarungsmodus ohne Chiasmen. Die Paarung ist nicht immer vollständig; es treten auch Univalente auf. Neben den Spermatozyten mit hoher Chromosomenzahl sind solche mit somatischer Chromosomenzahl vorhanden, deren Teilung abnorm verläuft. Die beiden Spermatozytensorten entstehen durch differentielle Spermatogonienteilungen, bei denen nur ein diploider somatischer Chromosomensatz sich normal mitotisch teilt, während die übrigen Chromosomen eine Gruppe an einem Spindelpol bilden und mit der einen Anaphasegruppe vereinigt werden. Es kommt auch ungleiche Verteilung der sich nicht mitotisch teilenden Chromosomen auf beide Pole vor. Hierauf beruhen die Zahlenschwankungen in den Spermatozyten. Differentielle Mitosen laufen auch in den Oogonien ab, doch haben alle Oozyten hohe Chromosomenzahlen; die niedrigzahligen Abkömmlinge werden wohl zu Nährzellen, in denen sich der diploide somatische Chromosomenbestand während des endomitotischen Wachstums nachweisen läßt. Die niedrige Chromosomenzahl der Somazellen kommt während der frühen Furchungsteilungen durch Elimination während der Anaphase nach dem für andere Nematoceren bekannten Vorgang[3]) zustande. Sie scheint nicht für alle Chromosomen synchron zu erfolgen, sondern sich auf drei Teilungsschritte zu erstrecken.

Diese kurze Darstellung ist im wesentlichen basiert auf den Befunden an *Trichocladius vitripennis*, während von den anderen Arten Beobachtungen hauptsächlich über die Spermatogenese vorliegen. Nach Ergänzung der Lücken, die infolge der schwierigen Beschaffung aller Entwicklungsstadien zeitraubend ist, sollen die Arten in Einzeldarstellungen ausführlich behandelt werden. Die Ausdehnung der Untersuchung auf andere Chironomiden ist eingeleitet.

Wilhelmshaven, Max-Planck-Institut für Meeresbiologie.
HANS BAUER und WOLFGANG BEERMANN.

Eingegangen am 26. November 1951.

[1]) WOLF, E.: Chromosoma **2**, 192 (1941).
[2]) An zwei unbestimmten Orthocladiinen hat Dr. E. WOLF vom Genetischen Institut der Freien Universität Berlin unabhängig von uns gleichartige Befunde an der Spermatogenese erhoben.
[3]) REITBERGER, A.: Chromosoma **1**, 391 (1940). — WHITE, M. J. D.: Univ. Texas Publ. **1950**, No. 5007.

Zur Fluoreszenz der Granen im Chloroplasten.

Im Rahmen mikromorphologischer Untersuchungen an Chloroplasten wurde unter anderem auch das Fluoreszenzmikroskop herangezogen, da Chlorophyll bei Bestrahlung mit kurzwelligem Licht in Wellenlängen um 681 bis 685 mμ rot fluoresziert.

Die alleinige Rotfluoreszenz der Granascheibchen beschrieb zuerst METZNER[1]). Seine Beobachtungen wurden mehrfach bestätigt und als Beweis für die ausschließliche Lokalisation des Blattgrüns in den Granen der Chloroplasten angesehen (d.h., in den Farbstoffkörnchen, die in die mehr oder minder farblose Grundmasse, die Stroma, eingebettet sind). Diesen subjektiven Untersuchungsergebnissen fehlt sowohl bei KAUTSKY und HIRSCH[2]), FREY-WYSSLING[3]), HAGÈNE[4]) als auch bei STRUGGER[5]) bis heute aber noch der photographische Beleg. GRANICK und PORTER[6]) können trotz Verwendung rot sensibilisierter Platten und langer Belichtungszeiten nicht die alleinige Rotfluoreszenz der Granen photographieren. Sie schreiben dies allerdings weniger der Möglichkeit des Vorkommens von Chlorophyll im Stroma zu, sondern sehen in der geringen Intensität des ausgestrahlten Lichtes den Hauptgrund des Mißlingens.

Für die Untersuchungen wurden stärkefreie, lebende Chloroplasten des Schwammparenchyms von *Dracaena deremensis* (Drachenbaum) mit 0,1 mol Glukoselösung im Vakuum infiltriert. Als Fluoreszenzmikroskop fand der Panphot (E. Leitz) Verwendung. Die Lichtquelle war eine 10 Amp Gleichstromlampe. Als Erregerlichtfilter diente das SCHOTT-Blaulichtfilter BG 12, 4 mm, als Sperrfilter Reichert 8007, 1 mm. Zur Absorption des langwelligen Rot und der Wärmestrahlung war eine 5 cm tiefe Küvette mit 5% $CuSO_4$-Lösung vorgeschaltet. Die längere Suche nach einem geeigneten Plattenmaterial zeitigte schließlich Erfolg bei Verwendung der Spektralplatte 680 rot der Firma O. Perutz, München.

Die von den Granen ausgestrahlte Lichtintensität reichte aus, die Platte zu schwärzen, ohne daß die Umgebung, d.h. in diesem Fall das Stroma, ebenfalls eine Schwärzung hervorrief und die Konturen verwischte, wie es bei den bisherigen Versuchen der Fall gewesen war. Eine Belichtungszeit von 5 min genügte. Die beigefügte Aufnahme zeigt einige lebende Chloroplasten. Deutlich sind die hellen, also rot fluoreszierenden Granen von dem dunklen, nicht rot leuchtenden Stroma zu unterscheiden. Hiermit dürfte auch objektiv die ausschließliche Fluoreszenz der Granen bewiesen sein. Ob im

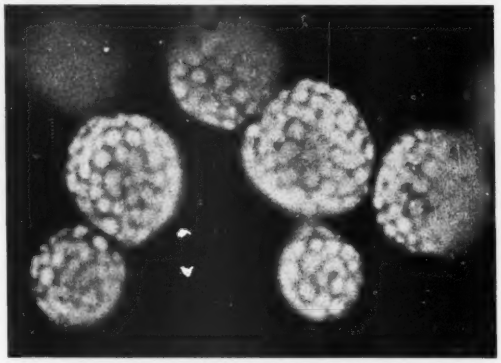


Fig. 1. Fluoreszierende Chloroplasten von *Dracaena deremensis*. $^1/_{12}$ Ölimmersion 100mal, Periplanokular 8mal. Weitere Angaben im Text.

Stroma noch Chlorophyll in anderer, nicht fluoreszierender Form vorliegt, kann hierdurch jedoch nicht entschieden werden.

Aus dem Staatsinstitut für Allgemeine Botanik und dem Botanischen Garten zu Hamburg.
D. DÜVEL und W. MEVIUS jr.

Eingegangen am 24. November 1951.

[1]) METZNER: Über den Bau der Chloroplasten. Ber. dtsch. bot. Ges. **55**, 16 (1937).
[2]) KAUTSKY u. HIRSCH: Chlorophyllfluoreszenz und CO_2-Assimilation. I. Biochem. Z. **274**, 423 (1934).
[3]) FREY-WYSSLING: Submicroscopic Morphology of Protoplasm and its Derivatives. New York 1948.
[4]) HAGÈNE: Note sur la fluorescence des chloroplastes et sur leur pouvoir de réduction du nitrate d'argent. C. r. Soc. Biol. Paris **143**, 147 (1949).
[5]) STRUGGER: Die Strukturordnung im Chloroplasten. Ber. dtsch. bot. Ges. **64**, 69 (1951).
[6]) GRANICK u. PORTER: The structure of the spinach chloroplast as interpreted with the electron microscope. Amer. J. of Bot. **34**, 545 (1947).

Über das antiphlogistische Prinzip der Kamille.

Die antiphlogistische Wirkung des ätherischen Öls der echten Kamille führt man seit den Untersuchungen HEUBNERS meist auf den darin enthaltenen tiefblauen Kohlenwasserstoff *Azulen* zurück. Folgende Feststellungen führten zu Einwänden dagegen: Kamilleninfuse besitzen trotz eines verhältnismäßig geringen Azulengehalts gute antiphlogistische Wirkungen; in solchen Infusen wurde zudem von WEGNER[1]) ein weiterer — nicht mit Azulen identischer — blauer Farbstoff nachgewiesen. Es gibt auch Kamillenöle, welche bei relativ guter antiphlogistischer Wirkung kaum Azulen enthalten. Schließlich hat NEUWALD im *Chamillin* einen zweiten physiologisch wirksamen Stoff aus der Kamille isoliert[2]).

In unseren Versuchen haben wir zunächst bestätigt, daß Kamille selbst kein Azulen, sondern eine praktisch farblose Vorstufe enthält. Diese ist aber — nach Isolierung und Reinigung — ziemlich unbeständig, indem sie in wäßriger Lösung bei 100° in wenigen Minuten, bei Zimmertemperatur im Lauf einiger Stunden in Azulen übergeht. Als Zwischenstufe tritt ein blaues, vom Chamazulen auf Grund von Löslichkeit und Adsorbierbarkeit deutlich verschiedenes Produkt auf, welches auf Grund seiner Eigenschaften mit dem WEGNERschen Farbstoff identisch sein dürfte. Eine in Rohextrakten aus Kamille

enthaltene, wohl farblose Azulenvorstufe ist ferner wasserdampfflüchtig, so daß sich bei geeigneter Aufbereitung farblose oder farbschwache ätherische Öle erhalten lassen. Diese sind im biologischen Test am Meerschweinchenauge wirksam. Wie KUNERT[3]) u. a. zeigten, kann durch wiederholte Destillation dieses Öl — entsprechend seiner Wirksamkeit — schließlich „verblaut" werden. Azulen- bzw. Azulenvorstufen-freie Zubereitungen aus Kamillenextrakten sind antiphlogistisch wirkungslos. Aus solchen Aufarbeitungen läßt sich ohne Schwierigkeit ein in reichlichen Mengen kristallisierendes Produkt erhalten (auf Grund seiner Eigenschaften vermutlich Umbelliferon), dessen Gegenwart in der Kamille schon lange bekannt ist (vgl. HAGERS Handbuch). Zur Frage des *Chamillins* haben wir keine Feststellungen machen können.

Obwohl mit diesen Versuchen sichergestellt ist, daß die antiphlogistische Wirkung der Kamille „über" das Azulen zustande kommt, halten wir dieses auf Grund von Versuchen an synthetischen Azulenen nicht mehr für den eigentlichen Wirkstoff, sondern ebenfalls für eine Vorstufe: BARTON (unveröffentlicht) stellte fest, daß Kamillenöl und ebenso synthetisches 1-Isopropyl-5-methylazulen Phagozytose und Beweglichkeit der weißen Blutkörperchen steigern. Frische, gereinigte Präparate des letzteren sind aber wirkungslos, nur ältere Präparate zeigen deutliche Effekte. Im Anschluß an diese Versuche stellten wir fest, daß durch eine künstliche Alterung auch die antiphlogistische Wirkung erheblich vermehrt werden kann. Trägt man bei Durchführung des biologischen Tests die Wirksamkeit je Tag auf, so zeigt sich, daß die Differenz zwischen reinen und gealterten Präparaten im Lauf des Versuchs abnimmt. Vermutlich geht somit das reine Präparat in der Zubereitung (Emulsion) spontan in den eigentlich wirksamen Körper über. Während wir für die großen Wirkungsdifferenzen verschiedener synthetischer Azulene ursprünglich Löslichkeitseigenschaften und ähnliche Funktionen verantwortlich machen wollten, nehmen wir nunmehr an, daß ihre Fähigkeit zur Weiterumsetzung in den eigentlichen Körper entscheidend ist.

Institut für Medizin und Biologie der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin-Buch. Abt. Pharmakologie.

F. JUNG, M. WENDLER u. E. REINICKE.

Eingegangen am 14. November 1951.

[1]) WEGNER, E.: Arch. Pharm. Ber. dtsch. pharmaz. Ges. **283**, 127 (1950).

[2]) JUNG, F., W. SCHOETENSACK u. G. BRUNO: Arch. exper. Path. u. Pharmakol. **213**, 1 (1951). — JUNG, F., W. SCHOETENSACK, E. MAHLER u. L. BURCKHARD: Arch. exper. Path. u. Pharmakol. **213**, 255 (1951). Ältere Literatur vergleiche ebenda.

[3]) KUNERT, G.: Pharmazie **6**, 549 (1951).

Besprechungen.

Hasse, Helmut: Vorlesungen über Zahlentheorie. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1950. XII, 474 S. u. 28 Abb. DM 42.—; Gzl. DM 45.—.

Es ist zweifellos reizvoll, eine mathematische Theorie systematisch zu entwickeln. Für den Lernenden werden aber, wenn er beim Studium einer systematischen Darstellung vom Allgemeinen zum Besonderen fortschreiten muß, die konkreten Fragestellungen, die zur Aufstellung der Theorie geführt haben, leicht zu spät sichtbar, so daß ihm der Sinn der allgemeinen Begriffsbildungen anfangs dunkel bleibt. Das gilt für die Theorie der algebraischen Zahlen in besonderem Maße. HASSE gibt in dem vorliegenden Werk, das aus Vorlesungen in Göttingen und Berlin entstanden ist, eine Einführung in die Grundgedanken der Theorie der algebraischen Zahlen, die von einfachen zahlentheoretischen Fragen ausgeht und zeigt, wie deren Lösung zu den tieferen Begriffsbildungen führt, wobei er im wesentlichen an die historische Entwicklung anknüpft.

Der erste Abschnitt bringt die Grundlagen der elementaren Zahlentheorie, Teilbarkeitslehre und Kongruenzen. Der zweite Abschnitt handelt von den quadratischen Resten. Neben einem ganz im Gebiet der elementaren Zahlentheorie verlaufenden Beweis des quadratischen Reziprozitätsgesetzes wird ein Beweis mit GAUSSschen Summen gebracht, der schon anzeigt, daß das Reziprozitätsgesetz seine wahre Bedeutung erst im Bereich der algebraischen Zahlen enthüllt. Ein Paragraph über die Verteilung von quadratischen Resten führt bis zu den heute im Vordergrund der Forschung stehenden Fragen über diophantische Kongruenzen. Der dritte Abschnitt bringt den DIRICHLETschen Satz von der Existenz unendlich vieler Primzahlen in arithmetischen Reihen und damit die Anwendung der Analysis in der Zahlentheorie. Andererseits führt der Beweis des DIRICHLETschen Satzes zwangsläufig auf das Produkt der L-Reihen zu einem Modul m, dessen formale EULERsche Produktdarstellung dann veranlaßt, für den m-ten Kreiskörper und seine Teilkörper eine Primzerlegungstheorie zu *vermuten*, wie sie im Körper der rationalen Zahlen gilt. Daran anschließend werden die Fundamentalsätze der Zahlkörperarithmetik ohne Beweise formuliert — Primdivisorzerlegung, Endlichkeit der Klassenzahl und Einheitensatz — und damit eine vertiefte Einsicht in den Beweis des DIRICHLETschen Primzahlsatzes gewonnen.

Der vierte Abschnitt führt die Arithmetik für quadratische Zahlkörper aus. Dabei wird die zu Unrecht in Vergessenheit geratene ursprüngliche Methode von KUMMER benutzt. Auch hier wird der Zusammenhang mit Fragen der elementaren Zahlentheorie gewahrt, indem auf die Einheitenberechnung mittels Kettenbrüchen, die expliziten Klassenzahlformeln (die für die höheren Fälle durch Arbeiten des Verf. und seiner Schüler wieder im Vordergrund des Interesses stehen) und auf die Geometrie der Zahlen eingegangen wird. Das quadratische Reziprozitätsgesetz als Zerlegungsgesetz der Primzahlen in quadratischen Zahlkörpern führt zu einem Ausblick auf die allgemeinere Klassenkörpertheorie, den Gipfel der Theorie der algebraischen Zahlen. Am Schluß werden noch einmal die GAUSSschen Summen behandelt. Die berühmte von GAUSS gelöste Frage des Vorzeichens von GAUSSschen Summen mit quadratischem Charakter hängt wiederum mit dem quadratischen Reziprozitätsgesetz zusammen. Daran schließt sich eine unbewiesene Vermutung von KUMMER, die die Vorzeichenfrage in sinngemäßer Verallgemeinerung für höhere GAUSSsche Summen stellt.

Durch Verzicht auf Allgemeinheit und Systematik ist ein außerordentlich anregendes und reizvolles Buch entstanden, das manchem den Weg ebnen wird, der in die höhere Zahlentheorie eindringen will. Der oben angedeutete Weg zur allgemeinen Zahlkörperarithmetik mag allerdings etwas kühn erscheinen. M. DEURING (Göttingen).

Eingegangen am 8. Mai 1951.

Rauh, W.: Unsere Sumpf- und Wasserpflanzen. Naturwissenschaftliche Taschenbücher, Bd. 8, 2. Aufl. Heidelberg: C. Winter 1951. XXXII, 136 S., 96 farbige und 37 einfarbige Abb. DM 7.80.

Seit 40 Jahren gibt der genannte Verlag seine weit bekannten und beliebten kleinen Atlanten heraus, die Gruppen der Pflanzen- und Tierwelt in je etwa 90 bunten, immer nur einer Art gewidmeten, meist wohl gelungenen naturgetreuen Bildern und mit einem begleitenden Text behandeln. Der verstorbene Karlsruher Botaniker LUDWIG KLEIN war durch viele Jahre der führende Bearbeiter. Nunmehr hat W. RAUH, Heidelberg, die Neuherausgabe der botanischen Bände übernommen und den vorliegenden z.B. durch eine neue Anordnung nach Pflanzengesellschaften, die Hinzufügung weiterer Arten (mit Strichzeichnungen) und eine neue ökologisch-vegetationskundliche Einleitung vorteilhaft umgestaltet. Die Bändchen sind vor allem für den weiten Kreis derjenigen bestimmt, die den Namen von Pflanzen und Tieren ohne systematisch-morphologische Kenntnisse nach guten Bildern erfahren und sich dann über Bau, Lebensweise, Vorkommen und Nutzen unterrichten wollen. Das soll kein Anlaß sein, ihr Wiedererscheinen in verbesserten Auflagen nicht auch hier zu begrüßen. Sie können unter anderem auch im Schulunterricht sehr nützlich sein. F. FIRBAS (Göttingen).

Eingegangen am 15. Mai 1951.

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg.
Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.

LANDOLT-BÖRNSTEIN

Zahlenwerte und Funktionen

aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik

Sechste Auflage der „Physikalisch-Chemischen Tabellen"

In Gemeinschaft mit

J. Bartels, P. ten Bruggencate, K. H. Hellwege, Kl. Schäfer, E. Schmidt

und unter vorbereitender Mitwirkung von

J. D'Ans, G. Joos, W. A. Roth †

herausgegeben von

Arnold Eucken †

In vier Bänden

(Erster Band in fünf Teilen)

I. Band: Atom- und Molekularphysik

Soeben erschienen:

5. Teil: **Atomkerne und Elementarteilchen.** Bearbeitet von **P. Brix, U. Cappeller, A. Flammersfeld, H. Frank, J. Geiss, F. G. Houtermans, H. Houtermans, H. Kopfermann, H. Maier-Leibnitz, J. Mattauch, L. Meyer-Schützmeister, H. Müller, W. Paul, K. Philipp, H. Reich, A. Sittkus, E. G. Steinke, M. Teucher, D. Vincent.**

Vorbereitet von **Georg Joos.** Weitergeführt von **A. Eucken †.** Herausgegeben von **K. H. Hellwege.**

Mit 412 Abbildungen. VIII, 470 Seiten. 1952. In Moleskin gebunden DM 148.—

Inhaltsübersicht:

Hyperfeinstruktur der Atomterme und Atomlinien. — Die Atomkerne und ihre Eigenschaften. — Natürliche radioaktive Atom-Arten. — Wechselwirkung von Kernen mit Teilchen und Lichtquanten. — Kosmische Ultrastrahlung.

III. Band: Astronomie und Geophysik

Bearbeitet von **J. Bartels, Fr. Becker, W. Becker, M. Beyer, L. Biermann, E. C. Bullard, Fr. Burmeister, S. Chapman, W. Dammann, W. Dieckvoss, W. Dieminger, G. Dietrich, H. Dörmann, L. Ebert, G. Falckenberg, H. Flohn, W. Fricke, W. Friedrich, R. Geiger, P. Götz, S. Günther, B. Gutenberg, H. Haffner, W. Hansen, L. Harang, Fr. Hecht, C. Hoffmeister, J. Hopmann, W. Horn, H. Israel, H. Jensen, J. Joseph, K. Jung, Ch. Junge, K. Kalle, K. Keil, W. Kertz, H. v. Klüber, K. Knoch, M. Köhn, A. König, A. Kopff, J. Larink, H. Lettau, R. Meyer, F. Möller, F. Nusser, R. Penndorf, G. Pogade, M. Rössiger, F. Schnaidt †, E. Schoenberg, A. Schulze, H. Siedentopf, H. Strassl, K. Stumpff, H. E. Suess, E. Tams, A. Unsöld, H. Vogt, A. Wachmann, M. Waldmeier, R. Wildt, H. Winkler, K. Wurm.** Teilweise vorbereitet von **Georg Joos.**

Herausgegeben von **J. Bartels** und **P. ten Bruggencate**

Mit 331 Abbildungen und 8 Nomogrammen. XVIII, 795 Seiten. 1952. In Moleskin gebunden DM 248.—

Inhaltsübersicht:

Astronomie: Astronomische Instrumente. Orts- und Zeitbestimmung. Astronomische Konstanten. Die Häufigkeit der Elemente im Kosmos. Das Sonnensystem. Zustandsgrößen und Strahlung der Sterne. Örter und Bewegungen der Sterne. Spezielle Sterntypen. Das Sternsystem. Sternhaufen. Außergalaktische Nebel. — **Geophysik:** Schwerkraft und Erdfigur. Gezeitenkräfte. Minerale und Gesteine. Erdkörper. Magnetismus des Erdkörpers. Ozeanographie. Hydrographie. Meteorologie. Physik der höheren Atmosphäre.

Bisher erschienen:

I. Band: **Atom- und Molekularphysik**

1. Teil: **Atome und Ionen,** am 3. 7. 1950
2. Teil: **Molekeln I** (Kerngerüst), am 24. 3. 1951
3. Teil: **Molekeln II** (Elektronenhülle), am 25. 10. 1951

Die weiteren Bände werden folgende Gebiete behandeln:

I. Band: 4. Teil: **Kristalle.** Etwa 320 Seiten. Erscheint 1952.

II. Band: **Makrophysik und Chemie.** In 4 Teilen. In Vorbereitung.

IV. Band: **Technik.** In etwa 3 Teilen. Erster Teil erscheint 1952.

Jeder Band und Bandteil ist einzeln käuflich.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Im März 1952 erscheint:

Physikalisches Wörterbuch

Herausgegeben von **Wilhelm H. Westphal,** Berlin-Zehlendorf. Mit etwa 10500 Stichwörtern und etwa 1800 Textfiguren. In einem Band. Etwa 1600 Seiten. 1952.

Bei Vorausbestellung bis zum Erscheinen Halbfranz DM 118.40
Endgültiger Preis nach Erscheinen Halbfranz DM 148.—

Inhaltsübersicht: Erster Teil: Stichwörter A—L. Zweiter Teil: Stichwörter M—Z. — Geschichte der Physik. — Lebensdaten der Physiker. — Tabellen. — Nachträge.

Das bewährte Physikalische Handwörterbuch von Berliner und Scheel, das zuletzt 1932 in 2. Auflage erschien, ist seit langem vergriffen. In den seitdem verflossenen 20 Jahren hat die Physik ihren seit der Jahrhundertwende eingeleiteten Fortschritt in eher noch verstärktem Tempo fortgesetzt. Insbesondere ist die Physik der Atomkerne mit ihren weltbewegenden Auswirkungen fast ganz ein Kind dieser jüngsten Zeit. Aber auch auf den meisten anderen Gebieten sind wesentliche, teilweise umwälzende neue Erkenntnisse zu verzeichnen. Als Beispiel sei nur die Physik des Weltalls genannt, der es mehr und mehr gelingt, auf dem Boden der allgemeinen Relativitätstheorie einerseits, der Atom- und Kernphysik andererseits, das Werden und den heutigen Zustand des Weltalls und der Himmelskörper zu enträtseln.

Es war deshalb nötig, ein völlig neues Werk zu schaffen, das dieser Entwicklung Rechnung trägt. Um Raum für den gewaltig angeschwollenen Stoff zu gewinnen, war eine gewisse Beschränkung auf das eigentliche Erkenntnisgut und das für die reine Forschung Wesentliche unter Verzicht auf die Behandlung rein technischer Anwendungen unumgänglich. Trotzdem hat sich die Zahl der Stichwörter mit etwa 10500 gegenüber dem Physikalischen Handwörterbuch nahezu verdoppelt.

Die Zuverlässigkeit der Darstellung wird durch die Verteilung des Stoffes auf etwa 80 Mitarbeiter gewährleistet, die als Sachverständige auf ihren Spezialgebieten bekannt sind. Ein Nachtrag bringt Ergänzungen, die noch während der Drucklegung eingingen. Ein Anhang enthält unter anderem einen kurzen Abriß der Geschichte der Physik und eine Tabelle mit den Lebensdaten von etwa 800 Physikern.

Physik

Ein Lehrbuch. Von **Wilhelm H. Westphal,** Berlin. Vierzehnte und fünfzehnte Auflage. Mit 650 Abbildungen. XII, 758 Seiten. 1950. Ganzleinen DM 29.70

Kleines Lehrbuch der Physik

ohne Anwendung höherer Mathematik. Von **Wilhelm H. Westphal,** Berlin. Mit 283 Abbildungen. VIII, 251 Seiten. 1948. Halbleinen DM 9.60

Lehrbuch der theoretischen Physik

Von **Walter Weizel,** Professor der Physik an der Universität Bonn. Erster Band: **Physik der Vorgänge.** Bewegung, Elektrizität, Licht, Wärme. Mit 270 Textabbildungen. XV, 771 Seiten. 1949.
DM 53.—; Ganzleinen DM 56.90

Zweiter Band: **Struktur der Materie.** Mit 194 Textabbildungen. XII, 768 Seiten. 1950.
DM 66.—; Ganzleinen DM 69.90

Jeder Band ist einzeln käuflich!

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Diesem Heft liegt ein Prospekt des Springer-Verlages, Berlin · Göttingen · Heidelberg, bei.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany.